



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA – CCMN
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

FELIPE EMERSON ANDRÉ ALVES

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE AMOSTRAS DE
RESÍDUO DA MINERAÇÃO DE CHUMBO EM BOQUIRA,
(BA)**

Rio de Janeiro, 2014

FELIPE EMERSON ANDRÉ ALVES

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE AMOSTRAS DE
RESÍDUO DA MINERAÇÃO DE CHUMBO EM BOQUIRA, (BA)

Monografia submetida ao curso de graduação em Geologia da
Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito obrigatório da
disciplina “Trabalho Final de Curso”.

Orientadores: Dr. Julio Cezar Mendes (UFRJ)

Dr. Luiz Carlos Bertolino (CETEM)

Rio de Janeiro

Dezembro, 2014

FELIPE EMERSON ANDRÉ ALVES

**CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE AMOSTRAS DE RESÍDUO
DA MINERAÇÃO DE CHUMBO EM BOQUIRA, (BA)**

Monografia submetida ao curso de graduação em Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito obrigatório da disciplina “Trabalho Final de Curso”.

Dr. Julio Cezar Mendes (UFRJ)

(Orientador)

Dr. Luiz Carlos Bertolino (CETEM)

(Co-Orientador)

Aprovada em 5/12/2014, por:

Dr. Julio Cezar Mendes (UFRJ)

Dr. Luiz Carlos Bertolino (CETEM)

Dr. Reiner Neumann (CETEM)

Dr^a. Silvia Regina Medeiros (UFRJ)

Rio de Janeiro

Dezembro, 2014

À minha família e amigos.

Agradecimentos

O autor expressa aqui os mais sinceros agradecimentos as pessoas e instituições que estiveram envolvidas com a realização deste trabalho, em especial ao Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) pela estrutura cedida e ao CNPq pelo apoio financeiro.

Expresso minha gratidão principalmente aos meus orientadores Dr. Luiz Carlos Bertolino e Dr. Julio Cezar Mendes por todo o auxílio prestado durante a elaboração do trabalho, bem como aos Drs. Reiner Neumann e Otávio Gomes, Dra. Antonieta Middea e Dra. Thais de Lima por toda colaboração

Agradeço aos técnicos do Setor de Caracterização Tecnológica (SCT) do CETEM, em especial aos técnicos Josimar Firmino de Lima, Adauto José da Silva e Edivaldo da Conceição Silva. Sem os quais não seria possível realizar diversos procedimentos nesse trabalho.

Resumo

ALVES, Felipe Emerson André. Caracterização Mineralógica de Amostras de Resíduo da Mineração de Chumbo em Boquira, (BA). 2014. Trabalho Final de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Esse estudo faz parte de uma linha de pesquisa do Projeto Santo Amaro, realizado no CETEM, que é responsável pela “Caracterização Mineralógica” das amostras coletadas pela equipe do CETEM nas cidades de Boquira e Santo Amaro na Bahia. Entretanto o foco deste trabalho será a caracterização das amostras de Boquira. No município de Boquira, interior do Estado da Bahia, funcionou durante aproximadamente 30 anos uma mineração de chumbo. O rejeito do processo de beneficiamento do minério foi depositado de forma inadequada próximo à cidade e onde permanece até hoje em dia colocando em risco o meio ambiente e a população da região. O estudo tem como principal objetivo avaliar a distribuição do chumbo na bacia de rejeito. Foram coletadas sete amostras em diferentes pontos da antiga bacia de rejeito e no seu entorno próximo à cidade. As amostras foram caracterizadas através da difratometria de raios X (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV/EDS), microscópio petrográfico de luz refletida e análise química por fluorescência de raios X (FRX). As análises químicas indicaram a presença de chumbo em todas as amostras analisadas. De acordo com a difração de raios X, o chumbo ocorre associado principalmente à galena, cerussita e anglesita, onde através dos métodos de microscopia foi possível observar os diferentes tipos de ocorrência e suas relações texturais. A disposição inadequada desse tipo de rejeito coloca em risco o meio ambiente e a população que vive no seu entorno.

Abstract

ALVES, Felipe Emerson André Alves. Mineralogical characterization of waste samples of Lead Mining in Boquira, (BA). 2014. Trabalho Final de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

This study is part of a Santo Amaro Project research line, held by the Mineral Technology Center (CETEM), also responsible for the "Mineralogical characterization" of the field-collected samples took by the CETEM team while working in Boquira and Santo Amaro, Bahia. The focus of the study presented in this work only concerns the samples took from Boquira, though. Boquira city is located deeply in the Bahia state where a lead mine operated from approximately thirty years. The tailings from the ore beneficiation process were improperly deposited close to the city where its remainings linger until nowadays, bringing potential risks to the environment and the people who live in that area. The study mean to examine carefully how the lead has been distributed along the tailing piles. So seven samples were collected from different points of the old tailings basin and its surroundings near town. The samples were characterized by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM/EDS), reflected light microscope and chemical analysis by X-ray fluorescence (XRF). The chemical analysis indicated the presence of lead in all samples. According to X-ray diffraction, the lead occurs mainly associated with galena, cerussite, and anglesite, then, through microscopy methods, it was possible to observe the different occurrence types, likewise their textural relations. The improper disposal of this waste endangers the environment and the people living in that area.

Índice

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. PROBLEMAS AMBIENTAIS E TOXICOLÓGICOS ASSOCIADOS AO CHUMBO.....	4
3. OBJETIVOS	7
4. LOCALIZAÇÃO	8
5. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	10
6. GEOLOGIA LOCAL	11
7. MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
7.1 <i>Espectrometria de Fluorescência de raios X</i>	<i>17</i>
7.2 <i>Difratometria de raios X.....</i>	<i>17</i>
7.3 <i>Microscopia de Luz Refletida.....</i>	<i>18</i>
7.4 <i>Microscopia Eletrônica de Varredura.....</i>	<i>18</i>
7.5 <i>Separação em Líquidos Densos.....</i>	<i>19</i>
8. RESULTADOS OBTIDOS.....	21
8.1 <i>Fluorescência de raios X</i>	<i>21</i>
8.2 <i>Difratometria de raios X.....</i>	<i>23</i>
8.3 <i>Microscopia de Luz Refletida.....</i>	<i>25</i>
8.4 <i>Microscopia Eletrônica de Varredura.....</i>	<i>30</i>
8.4.1 <i>Seção Polida</i>	<i>30</i>
9. CONCLUSÕES.....	45
10. Referências Bibliográficas.....	47

Índice de Figuras

<i>Figura 1. Pilha de rejeitos da mineração em Boquira (BA).</i>	2
<i>Figura 2. Pilha de rejeitos em Boquira (BA).</i>	3
<i>Figura 3. Localização da cidade de Boquira em relação ao estado da Bahia (Wikipédia).</i>	8
<i>Figura 4. Imagem aérea da localização da mina desativada, bacia de rejeitos e da cidade de Boquira (Fonte: Google Earth).</i>	9
<i>Figura 5. Mapa geológico da região onde está localizado o município de Boquira (BA). Extraído e modificado de CPRM (2014).</i>	13
<i>Figura 6. Homogeneização por pilhas cônicas e longitudinais.</i>	14
<i>Figura 7. Pilha de rejeitos ao lado de Vila Residencial em Boquira (BA).</i>	16
<i>Figura 8. Diferentes pontos de coleta de amostras em Boquira (BA).</i>	16
<i>Figura 9. Homogeneização das amostras por quarteamento.</i>	19
<i>Figura 10. Etapas do processo de separação por líquido denso.</i>	20
<i>Figura 11. Embutimento das frações em seções polidas.</i>	20
<i>Figura 12. Distribuição de Pb para amostras brutas em (em mg/Kg).</i>	22
<i>Figura 13. Imagens obtidas na seção polida da amostra B3. C – cerussita, H – hematita, M – Magnetita, Mr – martita, G/P – Galena ou Pirita. (A) Distribuição de magnetita e hematita (B) Provável cristal de cerussita no centro.</i>	26
<i>Figura 14. Imagens obtidas na seção polida da amostra B5. (A) Cristais de hematita com feições que indicam crescimento a partir de magnetita. H – hematita, M – magnetita, Mr – martita, P/G – pirita ou galena (B) Cristal com reflectância mais elevada, possivelmente pirita ou galena.</i>	27
<i>Figura 15. Imagens obtidas na seção polida da amostra B6. H – hematita, M – magnetita, Mr – martita, P/G – pirita ou galena. (A) Cristal de martita no centro. (B) Cristais de magnetita, hematita e provável pirita ou galena.</i>	28
<i>Figura 16. Imagens obtidas na seção polida da amostra B7. H – hematita, M – magnetita, Mr – martita, P/G – pirita ou galena. (A) Imagem geral mostrando grande quantidade de magnetita. (B) Provável cristal de pirita ou galena.</i>	29
<i>Figura 17. Imagem referente à seção polida da amostra B3. (A) Tipo de ocorrência do chumbo “incluso” em partícula de óxido de ferro. (B) Análise por EDS realizada no ponto 1. (C) Análise por EDS realizada no ponto 2.</i>	31

- Figura 18. Imagem referente à seção polida da amostra B5. (A) Provável partícula de hematita. (B) Análise por EDS realizada na partícula da figura 16A..... 32*
- Figura 19. Imagem referente à seção polida da amostra B5. (A) Partícula de cerussita no ponto 1 e provável partícula de cummingtonita, lizardita ou talco no ponto 2. (B) Análise por EDS realizada no ponto 1. (C) Análise por EDS realizada no ponto 2..... 33*
- Figura 20. Imagem referente à seção polida da amostra B6. (A) Matriz composta por anglesita (ponto 1) envolvendo diversas partículas de outros minerais, dentre eles uma partícula de anfíbio (ponto 2) possivelmente óxido de ferro. (B) Análise por EDS realizada no ponto 1. (C) Análise por EDS realizada no ponto 2. 35*
- Figura 21. Imagem referente à seção polida da amostra B6. A figura apresenta, de forma ampla, a recorrência da feição observada na figura 18..... 35*
- Figura 22. Imagem referente à seção polida da amostra B7. (A) Partícula contendo chumbo (ponto 1) e partícula de talco ou lizardita (ponto 2). (B) Análise por EDS realizada no ponto 1. (C) Análise por EDS realizada no ponto 2..... 36*
- Figura 23. Imagens referentes a amostra B5. (A) Imagem de partícula contendo chumbo (ponto 1). (B) Análise por EDS realizada no ponto 1..... 37*
- Figura 24. Imagens referentes à amostra B6. (A) Partícula de sulfato de cálcio. (B) Partícula de sulfato de cálcio associado com pequena partícula composta por chumbo. (C) Borda da partícula da imagem (A) mostrando ocorrência de chumbo. (D) Análise por EDS realizada no ponto ressaltado no centro da imagem (C)..... 39*
- Figura 25. Imagens referentes a amostra B7. (A) Imagem de partícula contendo chumbo. (B) Análise por EDS realizada no ponto 1..... 40*
- Figura 26. Imagens referentes à amostra B7. (A) Imagem de partícula contendo chumbo. (B) Mapeamento do elemento chumbo realizado na partícula da Figura 26A. 41*
- Figura 27. Imagens referentes a amostra B5. (A) Imagem de partículas fibrosas. (B) Análise por EDS realizada no ponto 1. 42*
- Figura 28. Imagens referentes à amostra B6. (A) Imagens de partículas fibrosas. (B) Aumento na partícula da figura anterior. (C) Análise por EDS realizada na partícula apresentada.... 44*

Índice de Tabelas

<i>Tabela 1. Valores de referência para Chumbo no solo, segundo CONAMA 420/2009 em (mg/kg).</i>	<i>6</i>
<i>Tabela 2. Coordenadas dos pontos de coleta das amostras</i>	<i>15</i>
<i>Tabela 3. Concentrações de PbO (% em peso) das amostras brutas e das frações 0,210, 0,105, 0,053 e - 0,053 mm de amostras lavadas. Fun: dados obtidos em amostra fundida; Pren: dados obtidos em amostra prensada.</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 4. Média das concentrações de PbO (% em peso) das amostras brutas e das frações 0,210, 0,105, 0,053 e - 0,053 mm de amostras lavadas. Fun: dados obtidos em amostra fundida; Pren: dados obtidos em amostra prensada.</i>	<i>22</i>
<i>Tabela 5. Composição percentual dos minerais das frações afundadas, obtida através de quantificação de difratogramas pelo método de Rietveld.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabela 6. Composição percentual dos minerais das frações flutuadas, obtida através de quantificação de difratogramas pelo método de Rietveld.....</i>	<i>24</i>

Índice de Anexos

<i>Anexo 1. Composição química das amostras brutas obtida através de FRX. Resultados expressos em percentagem de óxidos normalizados a 100%.....</i>	<i>A</i>
<i>Anexo 2. Composição química das frações 0,210, 0,105, 0,053 e - 0,053 mm de amostras lavadas. Obtido através de FRX por preparação a prensagem. Resultados expressos em percentagem de óxidos normalizados a 100%.</i>	<i>B</i>
<i>Anexo 3. Composição química das frações 0,210, 0,105, 0,053 e - 0,053 mm de amostras lavadas. Obtido através de FRX por preparação a fusão. Resultados expressos em percentagem de óxidos normalizados a 100%.</i>	<i>C</i>
<i>Anexo 4. Difrátogramas de raios X.</i>	<i>D</i>

1. INTRODUÇÃO

Numa sociedade em contínuo crescimento, o ímpeto pela conservação ambiental, a necessidade de minimização dos resíduos produzidos pelas atividades antropogênicas e a rentabilidade dos investimentos envolvidos nos processos de produção, são fatores que devem unir-se num único esforço.

Algumas operações de mineração e metalurgia pretéritas deixaram passivos que impactaram negativamente o homem e o ambiente. A visualização dessa situação se expressa na grande quantidade de resíduos abandonados e expostos às intempéries.

A exploração do minério de chumbo em Boquira – município com 1.482,704 km² e 22.037 habitantes (IBGE 2010a) – começou no final da década de 1950 pela Penarroya S.A, que criou a Companhia Brasileira de Chumbo (Cobrac) para atuar no Brasil como sua subsidiária. Posteriormente, a empresa foi incorporada à Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda. (Manzoni *et al.* 2002), pertencente ao Grupo Trevo (Anjos *et al.* 2001, Camelo 2006, Barrero 2008). O minério de chumbo lavrado e beneficiado em Boquira era usado para produzir ligas de chumbo em Santo Amaro (Camelo 2006, Barrero 2008, Manzoni *et al.* 2009), município com 492.912 km² e 57.800 habitantes (IBGE 2010b).

O minério extraído continha 9% de chumbo, 3% de zinco e 32 gramas de prata por tonelada, e era beneficiado em dois concentrados de flotação, o de chumbo, com 70% do metal, e o de zinco, com 51%. Estes concentrados eram encaminhados de caminhão para a Cobrac, em Santo Amaro, a 500 km da mina onde, depois de ustulação [queima de sulfeto] e fusão, viravam chumbo com praticamente 100% de pureza, prontos para entrarem no mercado. Os concentrados de zinco eram exportados (Ferran 2007).

A mina atingiu seu auge de produção nos anos 1970 (DNPM 2006). No entanto, as reservas economicamente viáveis se esgotaram e a Mineração Boquira foi vendida, em 1986, aos grupos brasileiros CMP e Luxma. As empresas passaram a explorar os pilares de sustentação da mina de Boquira - áreas que tinham de ser poupadas para assegurar a sustentação das galerias abertas no subsolo. Porém, os custos da atividade inviabilizaram o negócio, pois, para cada pilar de sustentação explorado, a empresa tinha de construir, por questão de segurança, um novo pilar artificial, com material trazido para subsuperfície (Ferran 2007).

Somado aos altos custos de operação, o excesso de oferta internacional de chumbo fez com que as cotações do commodity caíssem, o que levou ao fechamento da mina de Boquira

(Ferran 2007). A mina foi desativada em 1992 (Camelo 2006). Hoje, a cidade está à espera de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) e de um plano que permita que toda a infraestrutura da mina seja aproveitada por atividades compatíveis com a localidade (Ferran 2007).

Em Boquira, uma das maiores preocupações é com a disposição dos rejeitos do beneficiamento desenvolvido ao longo de mais de três décadas (Figura 1). Os rejeitos do beneficiamento apresentam teores de zinco, cádmio, arsênio, prata, além de chumbo e outros metais, e não foram dispostos segundo parâmetros ambientais aceitáveis, colocando em risco os mananciais e solos após o rompimento de uma antiga barragem de contenção (DNPM 2006).

Para tratar a questão dos resíduos sólidos, o Brasil possui legislação e normas específicas. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi instituída pela Lei Federal nº 12.305 de agosto de 2010 (BRASIL 2010a) e regulamentada pelo Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010 (BRASIL 2010b). A PNRS estabelece princípios, objetivos, diretrizes, metas e ações, e importantes instrumentos, tais como o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, que está sendo elaborado.

A versão preliminar do Plano compreende o diagnóstico da situação atual dos diferentes tipos de resíduos, dentre eles, os provenientes de atividades de mineração e as metas para o manejo adequado de resíduos sólidos no Brasil. Também se destacam, dentre os instrumentos previstos na PNRS, e que devem ser implantados, aqueles que estabelecem a elaboração de planos de gerenciamento de resíduos sólidos e a realização de inventários (Ministério do Meio Ambiente 2011).



Figura 1. Pilha de rejeitos da mineração em Boquira (BA).

O município onde o resíduo encontra-se depositado está localizado na porção chamada de semi-árido brasileiro, conhecido por ser uma região de clima extremamente seco, dessa forma é necessário que se faça uma breve descrição a respeito da dinâmica do chumbo que nesse caso é transportado principalmente por via aérea como pode ser observado na Figura 2.



Figura 2. Pilha de rejeitos em Boquira (BA).

2. PROBLEMAS AMBIENTAIS E TOXICOLÓGICOS ASSOCIADOS AO CHUMBO

Na atmosfera, o chumbo encontra-se na forma particulada. Essas partículas, quando lançadas ao ar, podem ser removidas da atmosfera e transferidas para superfícies e compartimentos ambientais por deposição seca ou úmida. Cerca de 40 – 70% da deposição do chumbo ocorre por precipitação úmida, dependendo de fatores como localização geográfica e nível de emissão na área, segundo dados da World Health Organization (ATSDR 2007, WHO 1995).

Uma vez que o metal tenha sido liberado das partículas do minério, um dos fatores mais importantes que influenciam a toxicidade aquática do metal é a concentração iônica livre, a qual interfere na disponibilidade do chumbo para os organismos. A toxicidade do sal inorgânico de chumbo é muito dependente das condições ambientais, como a dureza da água, pH e salinidade (WHO 1989). Existem evidências de que cepas tolerantes existam e que essa tolerância possa ser desenvolvida em outras (WHO 1989). É provável que a resistência aos metais tóxicos na bactéria reflita o grau de contaminação ambiental dessas substâncias, e pode diretamente estar relacionada com a exposição (Malik *et al.* 2000).

O chumbo ocorre naturalmente nas plantas e resulta da captação de metal do meio ambiente. O metal afeta as plantas em locais onde as concentrações ambientais são muito elevadas (WHO 1989). Nos Estados Unidos, o chumbo tem sido encontrado em fertilizantes superfosfatados em concentrações acima de 92 mg/kg. O lodo de esgoto usado como fonte de nutrientes na agricultura, também pode conter altas concentrações do metal, tipicamente de 1.000 mg/L. Entretanto, níveis tão altos quantos de 26 g/kg tem sido encontrados naquele país. O solo, que recebeu grandes aplicações por longos períodos de tempo (anos), conteve 425 mg/kg, sendo a concentração em solos não tratados igual a 47 mg/kg (WHO 1995).

Em animais, existe uma correlação positiva entre o chumbo nos tecidos e as concentrações do metal provenientes da dieta, embora os níveis tissulares sejam quase sempre mais baixos. A distribuição do chumbo no organismo animal está intimamente relacionado ao metabolismo do cálcio. Entretanto, a forma orgânica tetravalente do chumbo, que é geralmente mais tóxica do que a divalente e a forma inorgânica, não segue esse metabolismo (WHO 1995).

Quanto aos acidentes já registrados, vale citar o caso do Centro de Informação Antiveneno, na Bahia, onde foi relatado o atendimento de uma família de seis pessoas (dois

adultos e quatro crianças) expostas ao chumbo durante quatro anos, numa oficina de reforma de baterias automotivas. Uma dessas crianças, do sexo masculino e com oito anos na época do atendimento, apresentou nível de chumbo em sangue igual a 105 µg/dL e um quadro agudo grave, que evoluiu com alterações do desenvolvimento psíquico e neuropatia periférica (Rebouças *et al.* 1995).

Dentre as doenças causalmente relacionadas à exposição ao chumbo metálico estão hipertensão arterial, arritmias cardíacas, cólica do chumbo, gota induzida pelo chumbo, insuficiência renal crônica, infertilidade masculina, efeitos tóxicos agudos e o saturnismo que é normalmente provocado por intoxicação ocupacional por chumbo (Ministério da Saúde Brasil 1999)

Quanto aos casos de contaminação por chumbo, o que mais se assemelha a situação de Boquira é o caso do Alto Vale do Ribeira – extremo sudeste do Estado de São Paulo e nordeste do Estado do Paraná - região que foi palco de intensa atividade de exploração e refino de metais até o ano de 1996, também pela empresa Plumbum. Entretanto a diferença entre os casos é o fato de o caso do Vale do Ribeira já apresentar registros de intoxicação. De acordo com Figueiredo (2004) no período de 1999-2003 foram realizados estudos do meio físico e saúde humana nos quatro municípios mineiros e em Cerro Azul, localizada fora da região de mineração, escolhida como área de controle. A população amostrada incluiu crianças (7-14 anos) e adultos que se voluntariaram para a pesquisa. As comunidades residentes nas proximidades da refinaria são as que apresentam as concentrações de chumbo em sangue mais elevadas (60% de casos com níveis superiores a 10 µg/dL). Para as crianças, obteve-se uma mediana de 7,40 µg/dL de chumbo em sangue, com uma variação de 1,8 a 37,8 µg/dL PbS. Os níveis médios de chumbo em sangue para as várias comunidades estudadas foram: 5,40 µg/dL na cidade de Ribeira; 6,06 µg /dL na zona urbana de Adrianópolis; 11,89 µg/dL nas comunidades de Vila Mota e Capelinha, situadas próximo à refinaria Plumbum, zona rural de Adrianópolis; 4,17 µg/dL na comunidade de Porto Novo, situada também na zona rural de Adrianópolis porém mais afastada da refinaria; 5,36 µg/dL no bairro da Serra, Iporanga; e 2,37 µg/dL PbS na cidade de Cerro Azul.

Esses dados revelam que o nível mais alto de exposição ao chumbo foi registrado entre as crianças residentes nas comunidades mais próximas à refinaria Plumbum em cuja área também esteve em operação a mina de Pannels, responsável pela maior produção de minério de chumbo e zinco do Vale do Ribeira (Figueiredo 2004).

Essa população também apresentou o valor mais alto de PbS de toda a população estudada, 37,8 µg/dL, superando em quatro vezes o valor de 10 µg/dL PbS, considerado pelo Center of Disease Control & Prevention (CDC 1991) e pela Organização Mundial da Saúde (WHO 1995) como o limite de boa saúde, principalmente em se tratando de crianças (Figueiredo 2004).

A tabela 1 apresenta os valores referências estipulados pela resolução n° 420 de 2009 do CONAMA por Ministério do Meio Ambiente (2009), que dispõe sobre a quantidade limite de chumbo em solo.

Tabela 1. Valores de referência para Chumbo no solo, segundo CONAMA 420/2009 em (mg/kg).

Metal	Referência (VRQ)	Prevenção (VP)	Investigação (VI)		
			Agrícola	Residencial	Industrial
Chumbo	17	72	180	300	900

3. OBJETIVOS

O estudo tem como objetivo principal a caracterização mineralógica de amostras coletadas na antiga bacia de rejeitos da mineração de chumbo em Boquira, com o intuito de determinar os teores de chumbo e a distribuição do metal. Espera-se que essa caracterização possa dar subsídios a uma avaliação dos possíveis danos que o material impacta ao meio ambiente e a população que vive no entorno da bacia de rejeitos.

4. LOCALIZAÇÃO

Boquira nasceu do antigo distrito Assunção, no município de Macaúbas. Com o início da exploração do minério de chumbo, na década de 1950, o distrito de Assunção desenvolveu-se tanto que representantes do povo na Câmara de Vereadores de Macaúbas entraram com um projeto de emancipação política, dando origem, em 1962, ao município de Boquira (Araújo *et al.* 2004).

Segundo dados do IBGE (2010a) a cidade de Boquira tem um território de 1.482,704 km² e cerca de 22.037 habitantes. A mina de chumbo do município de Boquira (BA) localiza-se, aproximadamente, na latitude 12° 51' 45"S e na longitude 42°30' 23"W. Situa-se na bacia do Rio São Francisco que pertence à região costeira do Atlântico Sul (Figura 3).



Figura 3. Localização da cidade de Boquira em relação ao estado da Bahia (Fonte: Wikipédia).

A localização da mina desativada, da bacia de rejeitos e da cidade de Boquira é apresentada na figura 4:

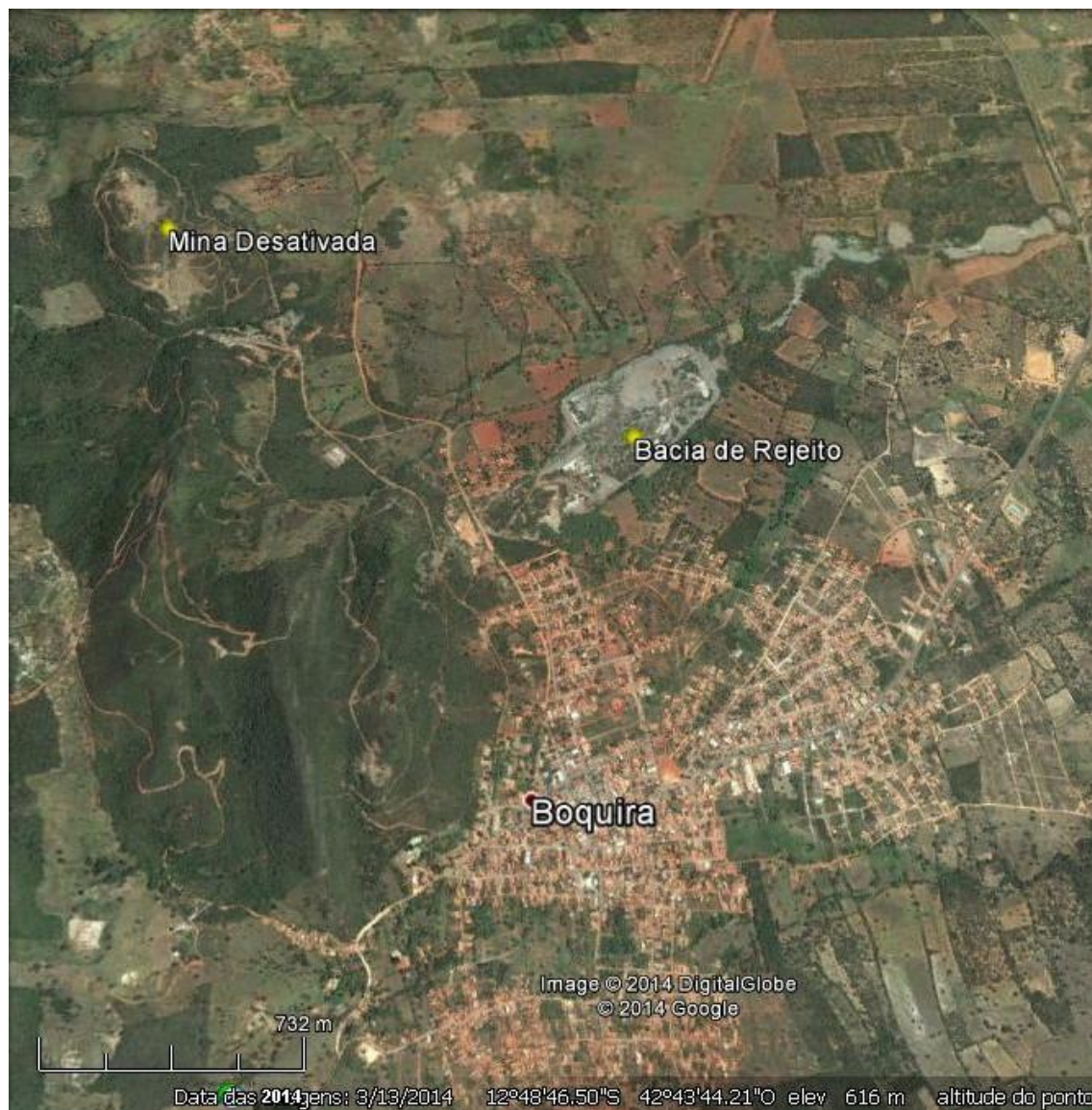


Figura 4. Imagem aérea da localização da mina desativada, bacia de rejeitos e da cidade de Boquira (Fonte: Google Earth).

5. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Segundo Schobbenhaus *et al.* (1988), a mina de Boquira está localizada no Vale do Paramirim, que apresenta uma direção geral NW-SE, uma largura de 40 km, estendendo-se por cerca de 130 km, constituído por um embasamento granito-gnáissico arqueano limitado em ambos os lados por altas escarpas (200-300 m) de quartzitos do Proterozóico Médio, pertencentes ao Espinhaço a oeste, e à Chapada Diamantina a leste. Este conjunto ocupa o centro do Cráton São Francisco.

O embasamento consiste de uma associação ortometamórfica de granitos, granodioritos e vários tipos de migmatitos ricos em Na e menos frequentemente ricos em K, com contribuição menor de metavulcânicas e metassedimentos, todos extensivamente cobertos por solo laterítico e areias fluviais quaternárias (Schobbenhaus *et al.* 1988). Idades de 3150 Ma (K/Ar em tremolita de um anfibolito), 3020 Ma (rochas total em metabasitos), 1860 Ma (K/Ar em tremolita de um tremolita mármore), 815 Ma (K/Ar em biotita de gnaisses) foram reportadas por Pedreira *et al.* (1978), bem como isócronas Rb/Sr de 2600 Ma (em gnaisses, migmatitos, granitos e metavulcânicas) e de 1530 Ma e 1080 Ma em granitos não foliados (Jardim de Sá *et al.* 1976). Estes dados geocronológicos são altamente sugestivos de um embasamento arqueano antigo que foi retrabalhado – metamorfismo da fácies anfibolito e migmatização em 2600 Ma (Ciclo Jequié-Guriense) – e submetido a outros eventos termais posteriores, incluindo o Ciclo Uruaçuano (1300-1000 Ma) (Jardim de Sá *et al.* 1976). Esta sequência começa com um conglomerado basal polimítico associado a um fino pacote de quartzito ferruginoso micáceo, sobreposto por 60 a 80 m de rochas vulcânicas de natureza riolítica-traquítica de foliação comendítica (Schobbenhaus *et al.* 1988). Jardim de Sá *et al.* (1976) e Mc Reath *et al.* (1981) sugerem que estas rochas vulcânicas poderiam representar intrusões rasas tardias semelhantes a sills. Entretanto de acordo com Schobbenhaus *et al.* (1988) ocorrem intercalações sedimentares nas vulcânicas bem como conglomerados portadores de seixos destas rochas, os quais indicam claramente que as vulcânicas são tufos e derrames ácidos precoces. Elas são seguidas por vários ciclos de quartzitos com características flúvio-deltáicas e folhelhos de ambiente marinho raso. O dobramento e metamorfismo desta sequência aumenta de leste para oeste, sendo muito fraco na Chapada Diamantina e acentuado na Serra do Espinhaço, onde um metamorfismo de fácies anfibolito baixo e dobramentos isoclinais podem ser observados (Jardim de Sá *et al.* 1976).

6. GEOLOGIA LOCAL

Próximo ao local de mina, a Formação Boquira consiste de clorita-granada-biotita-xistos, quartzitos, calcários, mármore, itabiritos e anfibolitos com direções paralelas às da borda leste da Serra do Espinhaço. Quatro serras proeminentes e alongadas, denominadas do norte para o sul de Pelado, Sobrado, Cruzeiro e Maranhão são a expressão topográfica dos anfibolitos – a rocha hospedeira da mineralização. A relação estratigráfica entre a Formação Boquira e os sedimentos e vulcânicas sobrejacentes do Espinhaço foi objeto de controvérsia por muito tempo, já que a zona de contato está coberta por espesso manto coluvial. Entretanto, mapeamento detalhado feito por Schobbenhaus *et al.* (1988) revelou que: 1) a extremidade norte do Filão Pelado desaparece sob os sedimentos do Grupo Espinhaço; 2) o conglomerado basal dos sedimentos do Espinhaço contém seixos de litologias características da Formação Boquira, como os itabiritos; 3) existe uma marcante diferença de fácies metamórficas e estilo tectônico entre as litologias da Formação Boquira e do Grupo Espinhaço; 4) clorita-granada-biotita-xistos ocorrem frequentemente como restitos nos migmatitos da área de Boquira; e 5) quartzitos da Formação Boquira, que formam o Morro da Maniçoba, entre os Filões Sobrado e Cruzeiro afinam para norte e transicionam para os migmatitos do embasamento.

Portanto, em vista destes fatos, a Formação Boquira pode com segurança ser considerada como parte integrante do embasamento. Esta conclusão é confirmada por várias outras ocorrências de sequências correlatas, como na área de Riacho de Santana, a cerca de 90 km de Boquira. Entretanto, a atribuição de uma idade arqueana ou proterozóica inferior à formação Boquira permanece uma questão em aberto. Muitos autores preferem a interpretação de uma sequência do Proterozóico Inferior parcialmente migmatizada durante o Ciclo Transamazônico (Jardim de Sá *et al.* 1976, Mascarenhas *et al.* 1979). Mas nenhuma evidência foi até aqui encontrada para separá-la dos gnaisses e migmatitos arqueanos. Ao contrário, interdigitações entre litologias da Formação Boquira e gnaisses, sugerindo mudanças laterais de fácies, são muito frequentes.

Uma das feições mais notáveis da Formação Boquira é a lenticularidade e a interdigitação de todas as suas litologias. Anfibolitos gradam para itabiritos em uma extremidade e para calcários na outra. Itabiritos podem passar diretamente para calcários e estes diretamente para clorita-granada-biotita-xistos.

Dezessete diferentes tipos de anfibolitos foram descritos (Rocha 1985) com base nos constituintes minerais e agrupados em três fácies: anfibolitos portadores de quartzo e magnetita, de silicato e magnetita e de carbonato e silicato. Os principais silicatos são cummingtonita, grunerita, pargasita, antofilita, actinolita e tremolita e os principais carbonatos são calcita, dolomita e Fe-dolomita.

A mineralização está alterada a uma profundidade de até 20 m. O minério oxidado é formado principalmente por cerussita, smithsonita, limonita e anglesita com proporções menores de piromorfita, hemimorfita, hidrozinca, crisocola, bornita, covelita, malaquita e azurita. Huntita, gahnita e plumbo-jarosita mencionados por Cassedanne (1972) estão presentes somente como curiosidades mineralógicas.

O minério não alterado é formado por lentes maciças de galena, esfalerita e pirita quase sem ganga. A galena totaliza quase 90% dos sulfetos, com exceção das extremidades dos filões, onde a pirita prevalece sobre os outros sulfetos.

Feições de alteração das encaixantes, tais como cloritização parcial dos anfibólitos, fraca impregnação de pirita e calcopirita ao longo dos veios de quartzo leitoso, presença de serpentina e turmalina em alguns veios e nódulos de quartzo, e a ocorrência frequente de cristais eudrais de granada ao longo de zonas de cisalhamento, que poderiam ser atribuídos à alteração hidrotermal, não estão restritas às proximidades da mineralização. São feições amplamente distribuídas, inclusive em outras ocorrências de litologias da Formação Boquira, dentro do embasamento, e frequentemente suas ocorrências não estão relacionadas à mineralização.

Na figura 5 é apresentado um mapa geológico da região onde está localizado o município de Boquira na Bahia.

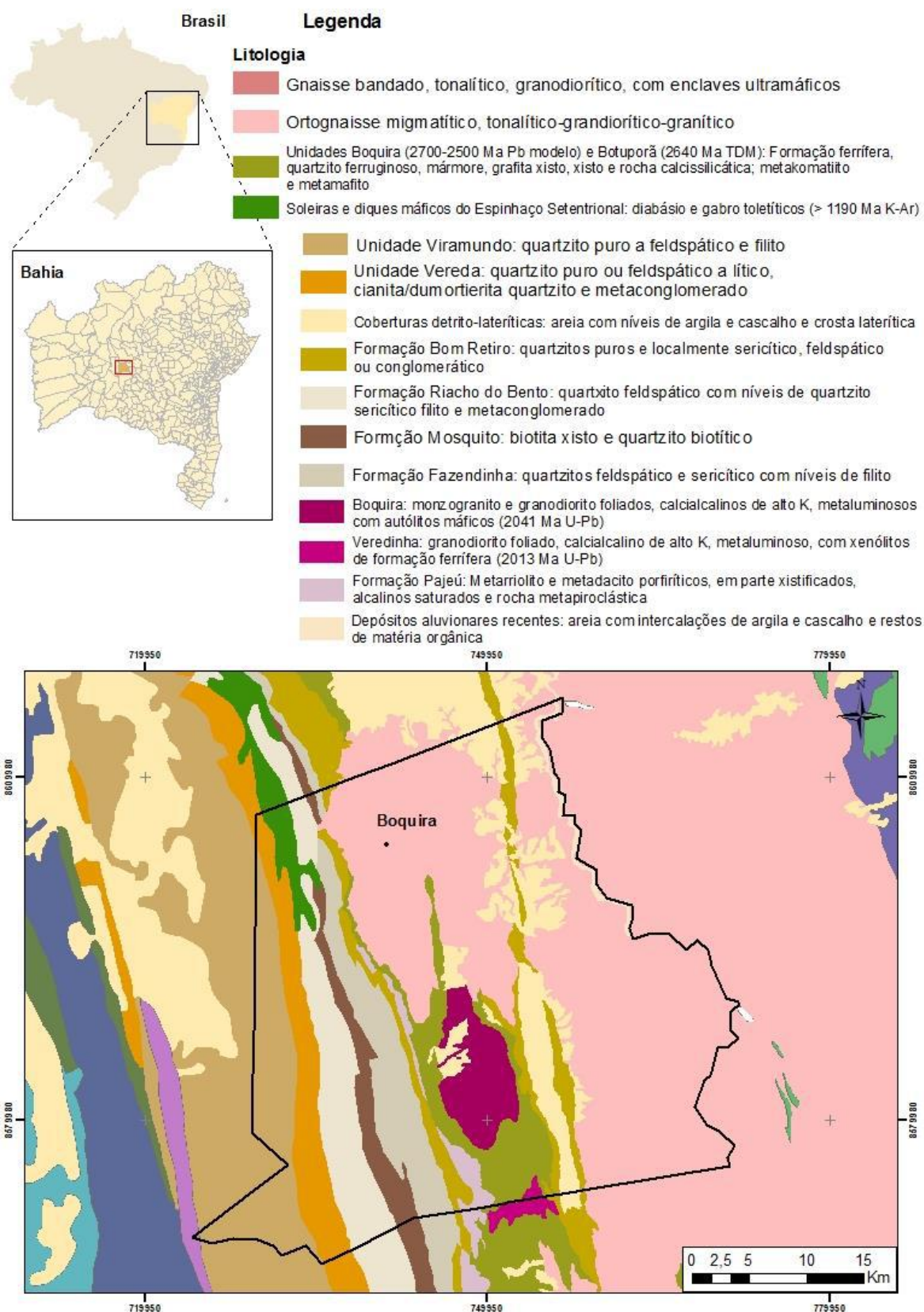


Figura 5. Mapa geológico da região onde está localizado o município de Boquira (BA). Extraído e modificado de CPRM (2014).

7. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram coletadas 7 amostras, com cerca de 3 kg cada, na região da antiga bacia de rejeito da mineração localizada no entorno da cidade de Boquira.

No Centro de Tecnologia Mineral cada amostra foi submetida à etapa de homogeneização e quarteamento por pilhas cônicas e longitudinais (figura 6). Em seguida, foi feita a classificação granulométrica a úmido nas frações 0,297, 0,210, 0,149, 0,105, 0,074, 0,053, 0,044 e -0,044 mm. Para facilitar a identificação dos constituintes de maior densidade, as amostras foram submetidas ao processo de separação em meio denso (iodeto de metileno $d=3,3\text{g/cm}^3$).



Figura 6. Homogeneização por pilhas cônicas e longitudinais.

A caracterização dos constituintes da amostra foi realizada através dos métodos de fluorescência de raios X (FRX), microscópio petrográfico de luz refletida, lupa, difratometria de raios X (DRX) e microscópio eletrônico de varredura (MEV).

As etapas do trabalho seguiram a seguinte ordem:

- Classificação granulométrica via úmido das amostras para as frações 0,210; 0,105; 0,053 e -0,053 mm;
- Determinar a composição química das amostras brutas e das frações 0,210; 0,105; 0,053 e -0,053 mm de granulometria através de FRX;

- Determinar a composição mineralógica das amostras brutas através de DRX;
- Análises por MEV em determinadas frações de granulometria;
- Separação por líquido denso utilizando-se o iodeto de metileno para concentração das frações afundadas e flutuadas;
- Determinar a composição mineralógica das frações afundadas e flutuadas obtidas na separação por líquido denso;
- Quantificação das fases minerais, obtidas por DRX, das frações após a separação por líquido denso, através do software Topas;
- Análises através de MEV e Microscopia de Luz Refletida nas seções polidas das frações afundadas obtidas na separação por líquido denso.

A tabela 2 mostra a localização exata dos pontos de coleta das amostras estudadas neste trabalho:

Tabela 2. Coordenadas dos pontos de coleta das amostras

Amostra	Tipo	Local	Localização Geográfica (UTM)
B1	rejeito	Boquira, bacia de rejeitos, perfil (0-1,5 m), amostra composta	23L 0746275 8583368
B2	rejeito	Boquira, bacia de rejeitos, perfil (0-1,5 m), amostra fase branca	23L 0746275 8583368
B3	rejeito	Boquira, bacia de rejeitos, perfil (0-1,5 m), amostra fase escura	23L 0746275 8583368
B4	rejeito	Boquira, bacia de rejeitos, amostra composta (0-20 cm)	23L 0746393 8583120
B5	planta + solo	Boquira, sobre bacia de rejeitos	23L 0746393 8583120
B6	sedimento (0-30 cm)	Boquira, drenagem junto a estrada, dentro da cerca	23L 0747997 85840228
B7	sedimento	Boquira, drenagem junto a estrada BA 156	23L 0748109 8584028

As figuras 7 e 8 mostram alguns dos pontos de coleta de amostras, onde destaca-se na figura 5 a pilha de rejeitos próxima a vila residencial, onde ao fundo observa-se um “redemoinho” de vento:



Figura 7. Pilha de rejeitos ao lado de Vila Residencial em Boquira (BA).



Figura 8. Diferentes pontos de coleta de amostras em Boquira (BA).

7.1 Espectrometria de Fluorescência de raios X

Raios X são radiações eletromagnéticas que resultam da excitação de átomos (ou íons) no interior de uma fonte selada e mantida em alto vácuo, denominada tubo de raios X. A identificação da composição química da amostra tem como base a Lei da Difração ou Lei de Bragg: $n\lambda = 2d\sin\theta$. No método de FRX, a difração do feixe de raios X característico (mais o contínuo remanescente) é realizada em cristais analisadores conhecidos e esta equação tem como incógnita o comprimento de onda (λ) do(s) elemento(s) químico(s) da amostra. n , d e θ são variáveis conhecidas, sendo: n = número de ordem da difração ($= 1$); d = distância interplanar do cristal analisador utilizado na análise (as FRX geralmente têm pelo menos 4 cristais analisadores disponíveis); θ = ângulo de incidência do raio X no cristal analisador. Os raios X difratados são encaminhados, por meio de tubos colimadores, para detectores que farão, através de ionização de átomos de gás, a conversão da energia dos fótons de raios X absorvidos em pulsos elétricos. Os pulsos eletrônicos produzidos nos detectores são amplificados e então conduzidos a analisadores de altura de pulso, onde ocorre o tratamento eletrônico final visando a determinação da composição da amostra e a quantificação associada.

Foram realizadas análises químicas através do método de *Espectrometria de Fluorescência de raios X* nas amostras brutas e nas frações 0,210; 0,105; 0,053 e -0,053 mm de amostras lavadas durante a classificação granulométrica. Para a preparação da amostra foi utilizado uma prensa automática X-PRESS modelo 3630 (com molde de 40 mm, P de 25 ton e tempo de 30 s) utilizando ácido bórico em proporção 1:1 como aglomerante. Os teores foram determinados através de análise semi-quantitativa (standardless) em espectrômetro por fluorescência de raios X (WDS) modelo AXIOS (Panalytical). A determinação da perda por combustão (PPC) foi feita através de equipamento Leco Analisador Termogravimétrico, modelo 701.

7.2 Difractometria de raios X

O método baseia-se na interação de ondas na frequência de raios X (geralmente entre 0,70 e 2,30 Å) com os planos de repetição sistemática do retículo cristalino dos minerais. A base teórica para o método é a Lei de Bragg onde $\lambda = 2d \sin\theta$, onde λ é o comprimento de onda da fonte de raios x utilizado, d são as distâncias interplanares e θ é o ângulo de reflexão.

Cada mineral apresenta um conjunto das diversas distâncias interplanares, tais distâncias são tabuladas em diversas referências, onde a mais difundida é a do ICDD (*International Center for Diffraction Data*).

Os resultados obtidos a partir das análises por DRX são expressos em espectros que apresentam picos referentes a substâncias cristalinas, portanto tal método é fundamental na determinação da composição mineralógica.

As análises por difratometria de raios X nesse trabalho, foram feitas nas amostras brutas e nas frações obtidas a partir da separação em meio denso. Foram feitas também análises de DRX pelo método normal e pelo método de Rietveld, onde através desse segundo método é possível obter uma quantificação em percentagem de cada mineral que compõe as amostras. Foi utilizado um equipamento Bruker-AXS D4 Endeavour com radiação $\text{CoK}\alpha$, a interpretação dos difratogramas foi feita no software EVA e a quantificação foi feita a partir do software Topas.

7.3 Microscopia de Luz Refletida

A microscopia de luz refletida é aplicada na identificação de minerais opacos. Tal análise é usualmente feita em seções polidas e é baseada na interação da luz com os minerais. Tais métodos são bastante precisos e flexíveis para análises qualitativas. As análises por microscopia de luz refletida nesse trabalho foram realizadas utilizando-se seções polidas.

7.4 Microscopia Eletrônica de Varredura

O funcionamento do MEV é baseado na interação de um feixe de elétrons finamente colimado com a amostra. As imagens obtidas são de diferentes tons de cinza proporcionais a um sinal gerado pela interação do feixe com a superfície da amostra. As imagens mais comuns são as de elétrons secundários, produzidos pela interação do feixe com os átomos presentes na amostra, tais imagens são fundamentais para a observação da morfologia dos minerais. Existem também as imagens obtidas através dos elétrons retro-espalhados, que são os elétrons que se chocam com as eletrosferas dos átomos e são arremessados de volta. Nesse tipo de imagem, o nível de cinza é proporcional ao número de elétrons, e consequentemente ao peso atômico médio em cada pixel da imagem, o que a torna, de maneira indireta, uma imagem composicional.

Nesse trabalho, foram feitas imagens - a partir de análises através do MEV, em um equipamento MEV FEI QUANTA 400, nas instalações do CETEM - RJ - para amostras brutas, e em seções polidas feitas com as frações obtidas através da separação em meio denso. Tais análises contaram com o auxílio de um Espectrômetro de Energia Dispersiva (EDS) que foi fundamental na determinação dos minerais devido ao fornecimento instantâneo da composição química de determinadas partículas.

Para as análises em grãos foi utilizada metalização com final camada de ouro e para as análises em seções polidas foi utilizada metalização por fina camada de carbono.

7.5 Separação em Líquidos Densos

Foi realizado o fracionamento das amostras através da separação por líquido denso a fim de concentrar a fração de maior densidade (Figura 10), obter melhores espectros nos difratogramas de raios X e embutir parte das frações em seções polidas. Para a separação foi utilizado o iodeto de metileno que tem densidade 3,32 kg/L. O processo de separação por líquido denso envolveu um preliminar quarteamento com o intuito de homogeneizar as amostras (Figura 9).

O embutimento das amostras foi realizado utilizando-se um kit Epofix de resina e catalisador da marca Struers em uma proporção de 25 g de resina para 3 g de catalisador (Figura 11).



Figura 9. Homogeneização das amostras por quarteamento.

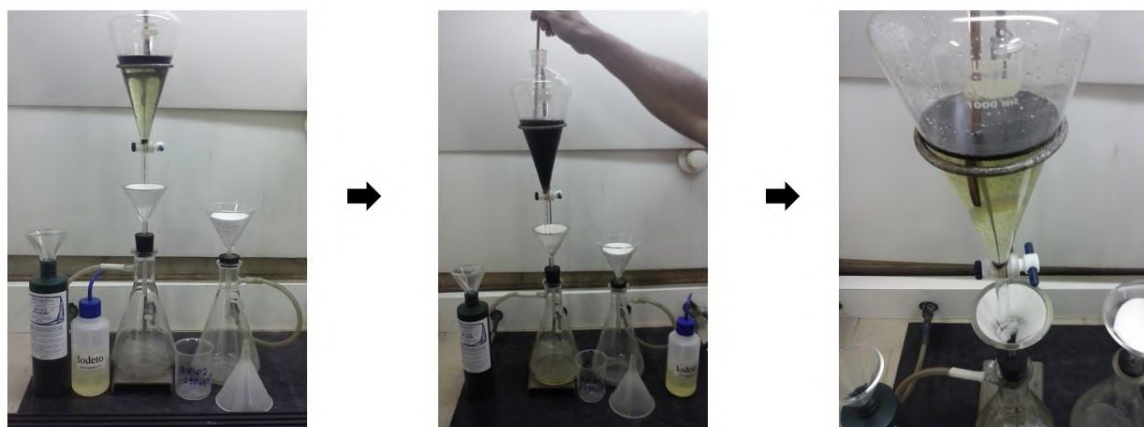


Figura 10. Etapas do processo de separação por líquido denso.

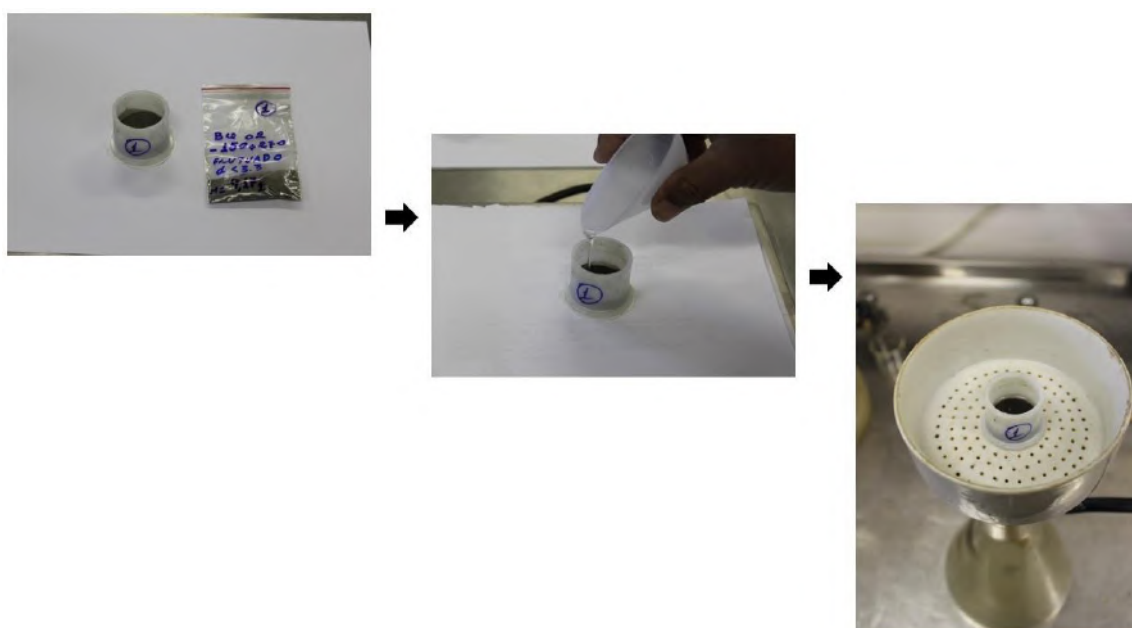


Figura 11. Embutimento das frações em seções polidas.

8. RESULTADOS OBTIDOS

8.1 Fluorescência de raios X

Na tabela 3 são apresentados os resultados, somente para teores de PbO, obtidos através de análise química, pelo método de fluorescência de raios X, feita nas amostras brutas e nas frações de granulometria 0,210, 0,105, 0,053 e - 0,053 mm de amostras. Os resultados encontram-se expressos em percentagem de óxidos normalizados a 100%. A tabela contendo os resultados completos para análises em amostras brutas encontram-se no anexo 1, para análise por frações através de preparação por prensagem no anexo 2 e por preparação por fusão no anexo 3.

Tabela 3. Concentrações de PbO (% em peso) das amostras brutas e das frações 0,210, 0,105, 0,053 e - 0,053 mm de amostras lavadas. Fun: dados obtidos em amostra fundida; Pren: dados obtidos em amostra prensada.

Fração mm	B1		B2		B3		B4		B5		B6		B7	
Preparação	Fun	Pren	Fun	Pren	Fun	Pren	Fun	Pren	Fun	Pren	Fun	Pren	Fun	Pren
Bruta	1,61	1,53	2,0	2,0	1,02	0,97	0,85	0,75	1,8	1,9	1,7	1,9	2,1	2,4
+0,210	0,9	0,7	0,9	0,7	0,7	0,6	1,6	1,2	1,3	1,0	1,6	1,4	1,4	1,6
+0,105	1,0	0,8	2,1	1,6	0,7	0,5	0,7	0,6	1,3	1,0	2,8	2,5	2,1	4,7
+0,053	1,0	1,4	2,5	2,0	0,6	1,0	0,3	0,5	1,5	2,4	1,4	1,1	2,1	2,1
-0,053	2,1	1,9	1,8	1,3	1,2	1,2	0,7	0,7	2,2	2,8	1,3	1,1	1,7	1,6

A partir dos resultados obtidos nas amostras brutas vale destacar os elevados teores de chumbo tanto para preparação por fusão como por prensagem. Os maiores teores foram os obtidos na amostra B7, sendo 2,1% por fusão e 2,4% por prensagem. O gráfico na figura 12 representa os valores obtidos em amostra bruta convertidos de %PbO para mg/kg de Pb. A linha horizontal vermelha é referente ao valor de Pb em solo estipulado para áreas residenciais pela resolução 420/2009 do Conama. Apesar da resolução tratar de elemento Pb já liberado em solo, foi feita a comparação devido a ausência de uma resolução com valores para Pb ainda não liberado da estrutura dos minerais.

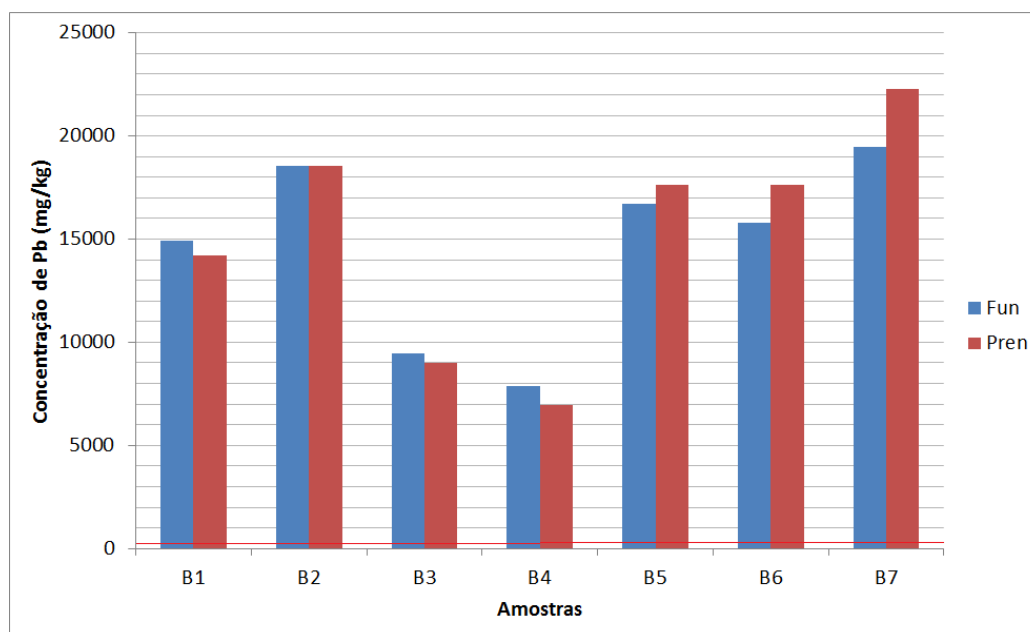


Figura 12. Distribuição de Pb para amostras brutas em (em mg/Kg).

Para ressaltar os altos valores foram calculadas as médias, onde observa-se na tabela 4 uma média de 1,58% por fusão e 1,64% por prensagem para as amostras brutas.

Tabela 4. Média das concentrações de PbO (% em peso) das amostras brutas e das frações 0,210, 0,105, 0,053 e - 0,053 mm de amostras lavadas. Fun: dados obtidos em amostra fundida; Pren: dados obtidos em amostra prensada.

Fração mm	Média das Amostras	
Preparação	Fun	Pren
Bruta	1,58	1,64
+0,210	1,20	1,03
+0,105	1,53	1,67
+0,053	1,34	1,50
-0,053	1,57	1,51

A análise granulo-química foi realizada com o intuito de determinar se existe concentração do chumbo em alguma fração de granulometria específica. Entretanto, através da interpretação dos resultados observa-se que não existe um padrão geral de distribuição que mostre concentração do metal em uma fração específica. Pode-se dizer que a amostra B1 apresenta teores de chumbo mais elevados para as frações menores que 0,105 mm, que são

consideradas mais finas. Por outro lado a amostra B7 apresenta teores mais elevados para as frações maiores que 0,105 mm, consideradas mais grossas.

8.2 Difractometria de raios X

A composição mineralógica obtida através das análises em amostras brutas é muito semelhante a associação mineralógica obtida nas frações afundada e flutuada apresentadas a seguir. Os difratogramas obtidos nas análises por DRX estão disponíveis no anexo 4.

A tabela 5 mostra a composição mineralógica da fração afundada e os resultados obtidos a partir da quantificação das fases minerais através do método Rietveld. Os resultados estão expressos em percentagem.

Tabela 5. Composição percentual dos minerais das frações afundadas, obtida através de quantificação de difratogramas pelo método de Rietveld

Mineralogia	Amostras						
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Quartzo	6,1	6,3	3,2	1,8	7,8	7,2	4,8
Magnetita	29,9	15,0	27,4	50,1	26,3	19,2	34,6
Pirita	1,5	1,5	2,0	0,0	1,9	1,9	2,1
Galena	0,0	0,2	0,3	0,0	0,2	0,1	0,4
Cummingtonita	22,4	31,3	30,1	27,8	9,3	25,0	14,5
Dolomita	1,7	4,8	2,6	2,1	0,0	2,7	1,9
Hematita	37,2	7,0	21,9	5,7	42,3	4,2	25,0
Cerussita	1,1	2,7	0,9	1,1	1,1	1,6	2,2
Calcita	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	1,5	0,7
Talco	0,0	17,7	9,9	8,4	9,5	10,5	10,8
Lizardita	0,0	1,9	1,3	0,1	0,0	1,7	0,3
Anglesita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,6	0,0
Clorita	0,0	6,6	0,0	2,9	1,6	5,9	2,8
Biotita	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0
Gipsita	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	100	100	100	100	100	100	100

Na tabela 6 observa-se a composição mineralógica da fração flutuada e os resultados obtidos a partir da quantificação das fases minerais através do Método Rietveld, onde os resultados estão em percentagem.

Tabela 6. Composição percentual dos minerais das frações flutuadas, obtida através de quantificação de difratogramas pelo método de Rietveld

Mineralogia	Amostras						
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
Quartzo	31,6	16,9	26,9	10,4	37,6	15,2	64,9
Cummingtonita	37,8	16,1	31,8	43,5	18,1	29,0	16,6
Dolomita	5,6	3,4	9,4	10,0	3,1	4,1	2,4
Hematita	0,8	1,0	0,3	0,2	3,0	0,4	0,4
Calcita	1,1	1,4	1,2	2,1	2,6	0,7	0,1
Talco	4,1	10,0	7,7	8,8	15,9	10,3	3,8
Lizardita	0,4	2,0	0,7	0,2	0,0	2,9	0,7
Clorita	1,6	18,5	2,9	5,2	8,2	13,2	1,4
Biotita	0,9	6,5	0,8	0,0	0,2	0,7	0,8
Gipsita	0,0	17,4	1,9	0,0	0,0	7,4	0,0
Actinolita	16,0	6,8	16,5	19,5	11,4	16,2	8,9
Total	100	100	100	100	100	100	100

De acordo com os resultados obtidos através da difratometria de raios X, observa-se que o chumbo existente nas amostras é proveniente dos minerais cerussita (PbCO_3), que está presente em todas as amostras, galena (PbS) presente nas amostras B2, B3, B5, B6 e B7, e anglesita (PbSO_4) presente somente na amostra B6. A maior concentração de mineral contendo chumbo foi 17,6% de anglesita e a mais recorrente foi de cerussita tendo ocorrido em todas as amostras com uma média de 1,53%.

Também foi observada a ocorrência de um mineral de hábito fibroso, identificado através da difratometria de raios X como lizardita, um mineral do grupo das serpentinas e cummingtonita, um anfibólio. Ambos os minerais são silicatos hidratados de magnésio e são consumidos industrialmente como amianto, grupo de substâncias consideradas tóxicas e associadas a ocorrência de doenças.

Além desses minerais considerados tóxicos, a quantificação das fases minerais permitiu observar uma grande concentração de magnetita e hematita – minério de ferro – em teores elevados. Foi observado uma média de 20,5% para hematita e 28,9% para magnetita nas frações afundadas.

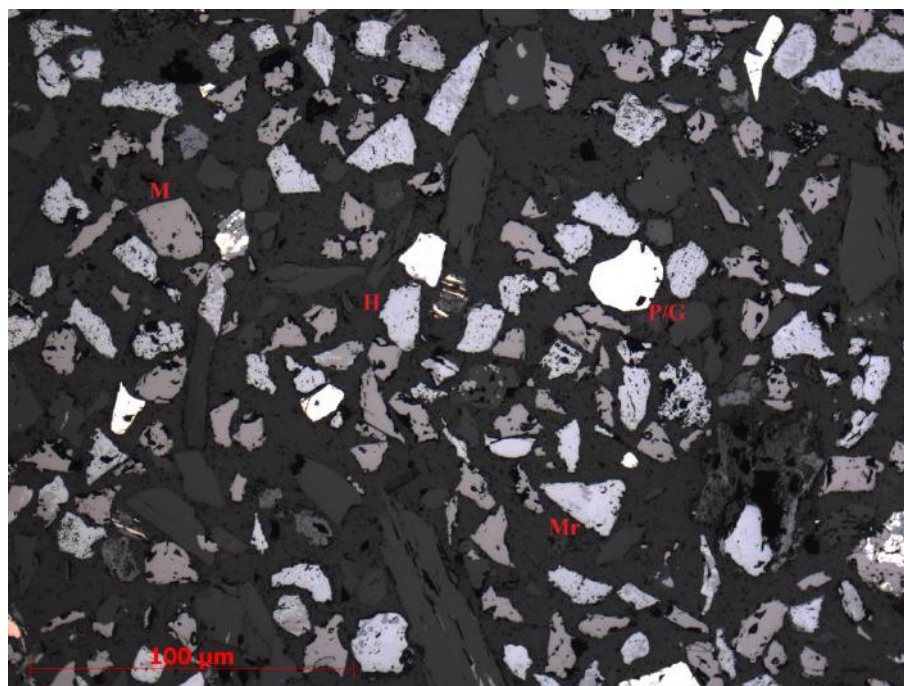
8.3 Microscopia de Luz Refletida

Dentre as principais características observadas na microscopia de luz refletida destaca-se o predomínio de magnetita, hematita e martita nas amostras, o que confirma os resultados obtidos a partir da quantificação por Rietveld. Apesar de não ser possível diferenciar hematita de martita através da difratometria de raios X, essa distinção ficou bem clara na microscopia de luz refletida, onde é possível observar claramente um processo de martitização que transformou o que primariamente eram cristais de magnetita em uma variedade textural de hematita denominada martita e posteriormente hematitas.

Nas microfotografias obtidas é possível observar diferentes estágios de martitização, onde - de forma resumida - a preservação dos planos cristalográficos e uma tonalidade de cor mais escura sugere que a partícula ainda seja de martita. E a não existência dos tons escuros e planos de cristalização sugere que a partícula já esteja no final do processo de martitização, sendo então uma hematita.

Na figura 13A, a magnetita é de coloração “rosada” e de reflectância não muito elevada, já a hematita apresenta coloração mais clara e reflectância mais elevada, onde é possível observar, em alguns cristais, determinados planos de crescimento que indicam martitas que cresceram a partir de magnetitas. Na difratometria de raios X não é feita distinção entre martita e hematita, haja visto que esse primeiro não é um mineral e sim uma variedade textural de hematita, portanto o valor na quantificação para hematita é referente a ambos os minerais.

Apesar de a cerussita ser um carbonato, esse mineral apresenta uma reflectância que varia de 10 a 12%, coloração em tons de cinza médio a escuro e birreflectância, o que torna possível sua distinção dos silicatos na microscopia de luz refletida. Sendo assim, pode-se dizer que o cristal no centro da figura 13B é uma cerussita envolvida por cristais de hematita.



(A)

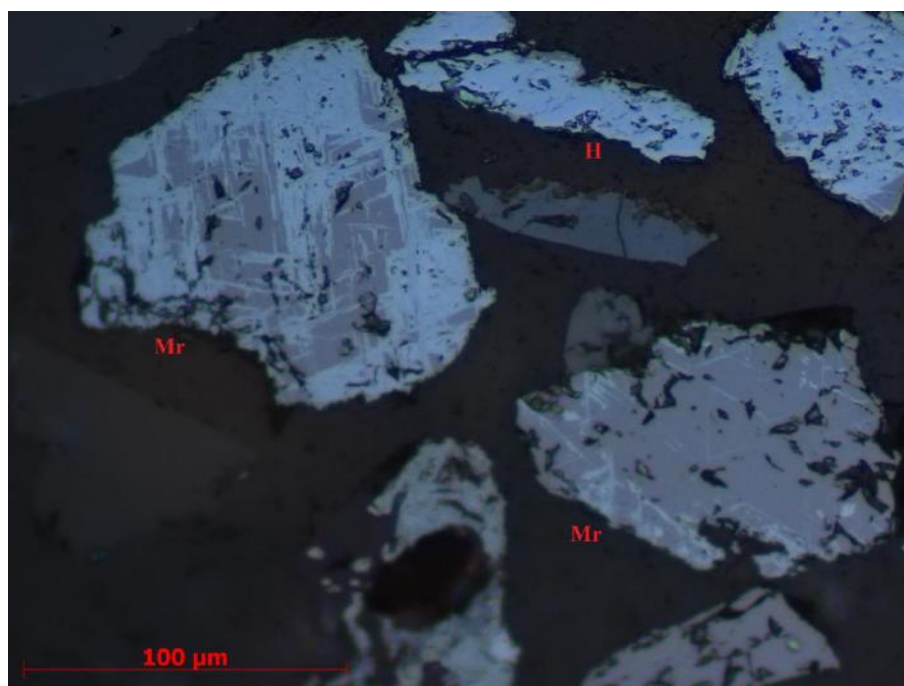


(B)

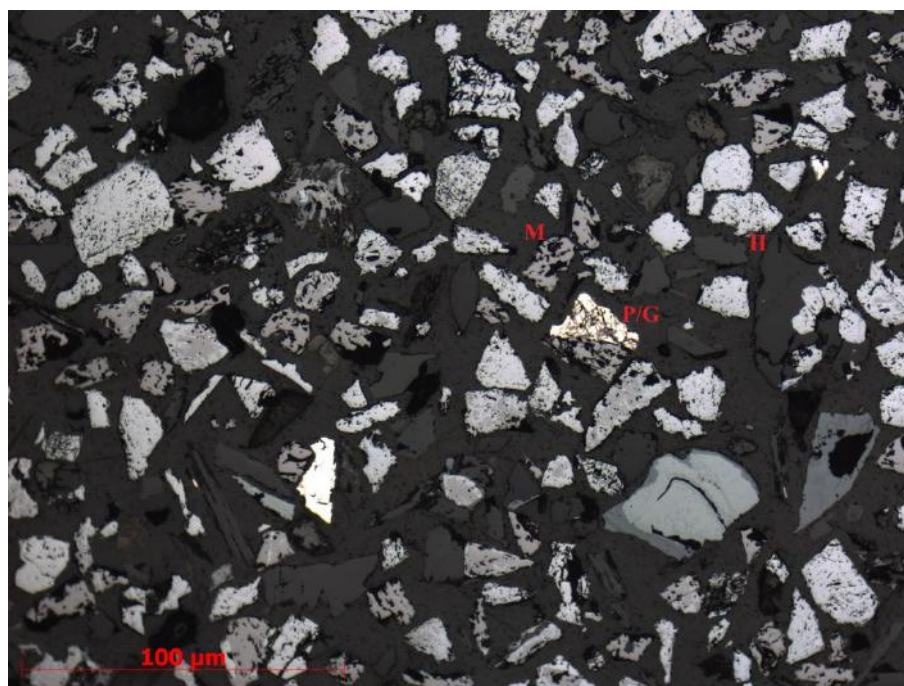
Figura 13. Imagens obtidas na seção polida da amostra B3. C – cerussita, H – hematita, M – Magnetita, Mr – martita, G/P – Galena ou Pirita. (A) Distribuição de magnetita e hematita (B) Provável cristal de cerussita no centro.

Na figura 14A é possível observar cristais de hematita e cristais com feições - descritas anteriormente como planos de crescimento - características de martita. A figura 14B apresenta um cristal de reflectância muito elevada, de difícil distinção devido a ausência de outras características diagnósticas. Entretanto, a partir de uma correlação entre a quantidade

observada em microscópio e a quantidade obtida na quantificação por Rietveld, pode-se dizer que esses cristais são de pirita e, com raras ocorrências, de galena.



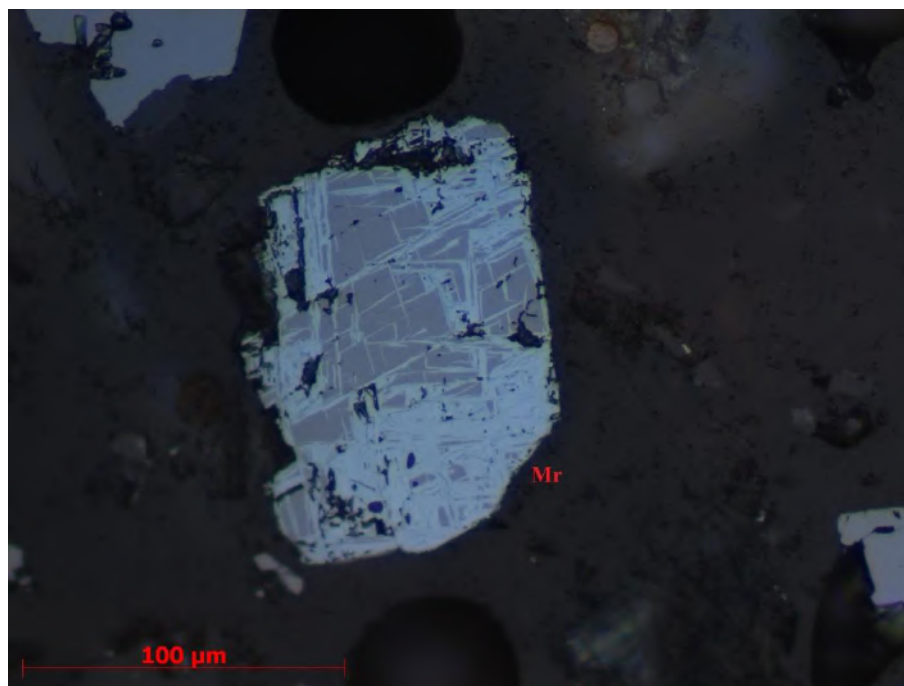
(A)



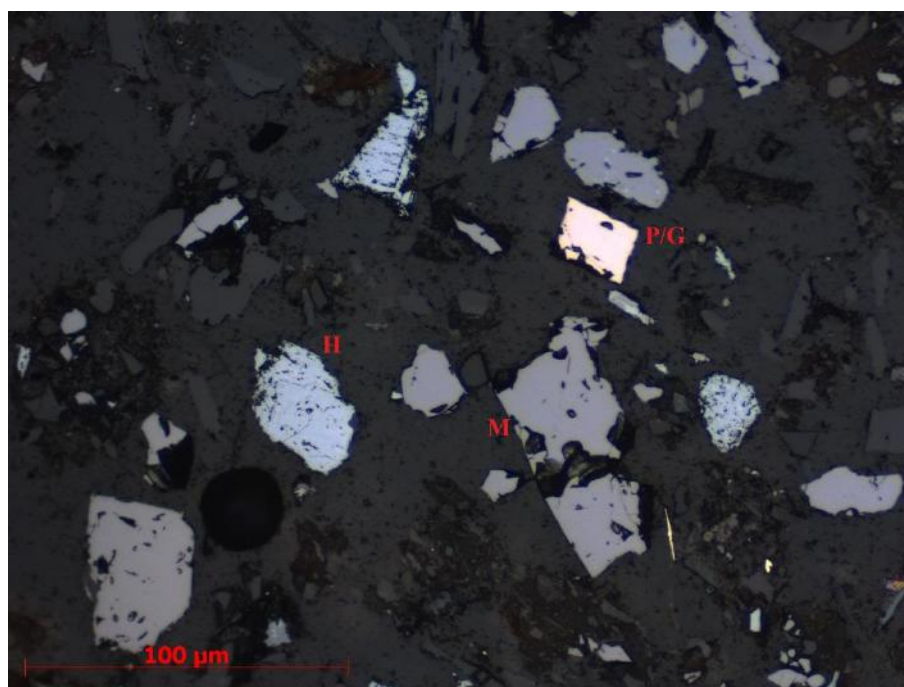
(B)

Figura 14. Imagens obtidas na seção polida da amostra B5. (A) Cristais de hematita com feições que indicam crescimento a partir de magnetita. H – hematita, M – magnetita, Mr – martita, P/G – pirita ou galena (B) Cristal com reflectância mais elevada, possivelmente pirita ou galena.

Na figura 15A é possível observar os planos de crescimento das martitas, o que passa a ser uma característica recorrente em todas as amostras analisadas sob o microscópio de luz refletida. Já na figura 15B é possível distinguir cristais de magnetita, hematita e um outro cristal provavelmente de pirita ou galena.



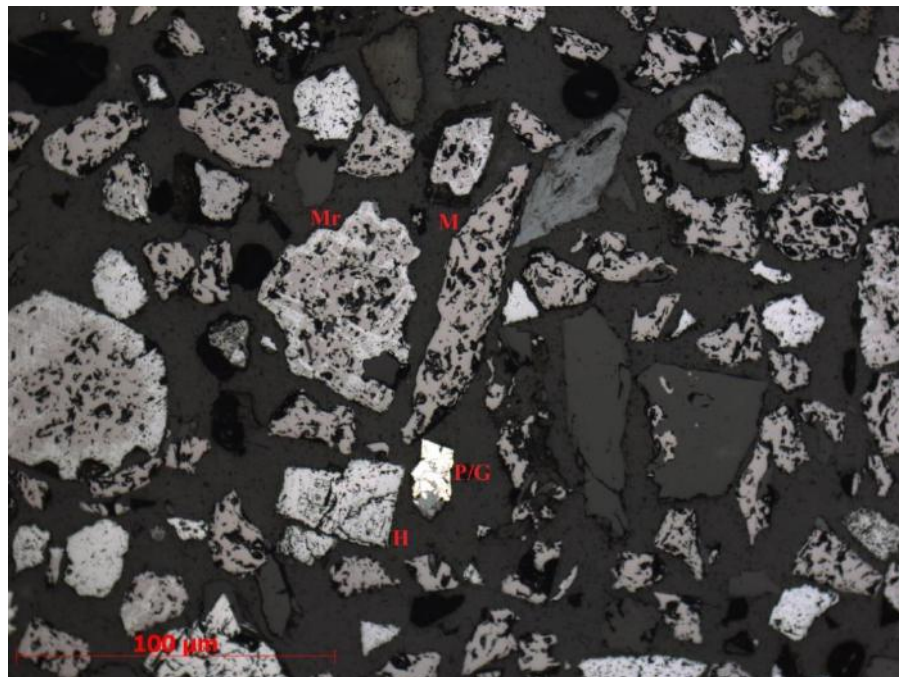
(A)



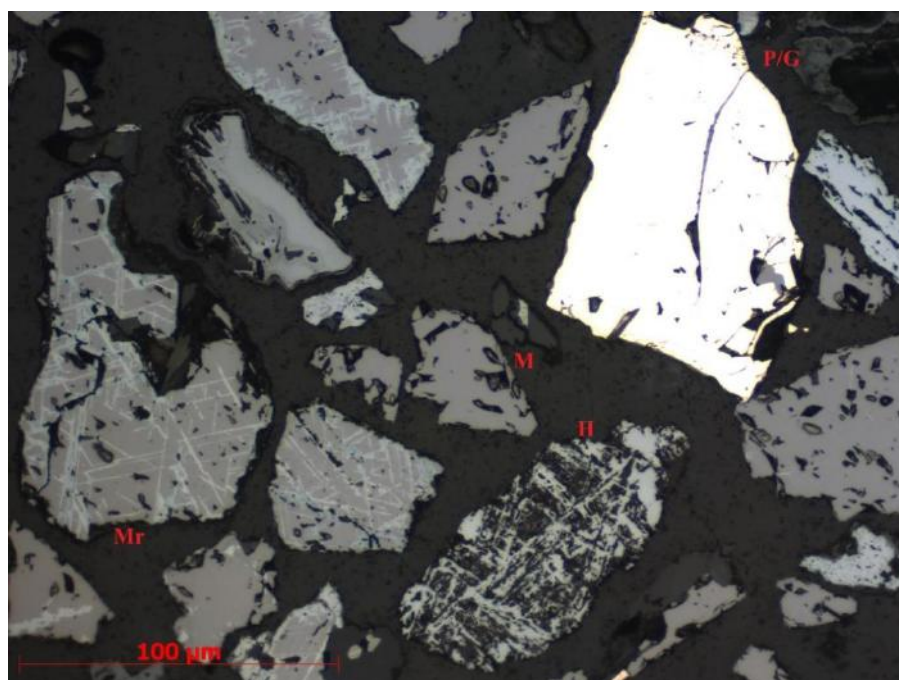
(B)

Figura 15. Imagens obtidas na seção polida da amostra B6. H – hematita, M – magnetita, Mr – martita, P/G – pirita ou galena. (A) Cristal de martita no centro. (B) Cristais de magnetita, hematita e provável pirita ou galena.

A seguir são apresentadas imagens obtidas na análise da amostra B7, onde a principal característica observada é a grande quantidade de magnetita e hematita (Figura 16A) e a ocorrência de cristais de reflectância mais elevada cuja distinção entre pirita e galena não é possível devido a ausência de outras características diagnósticas além da elevada reflectância (Figura 16B).



(A)



(B)

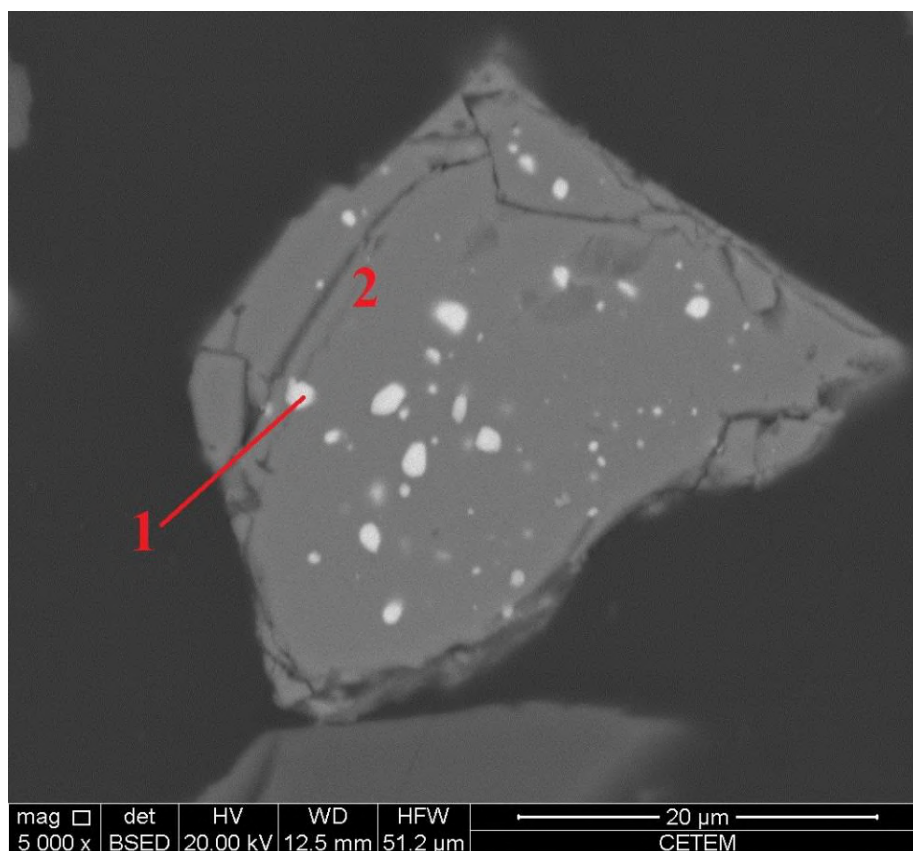
Figura 16. Imagens obtidas na seção polida da amostra B7. H – hematita, M – magnetita, Mr – martita, P/G – pirita ou galena. (A) Imagem geral mostrando grande quantidade de magnetita. (B) Provável cristal de pirita ou galena.

8.4 Microscopia Eletrônica de Varredura

8.4.1 Seção Polida

Como resultado das análises com MEV foram obtidas imagens das amostras e gráficos representativos das análises com espectroscopia de energia dispersiva (EDS), tanto em seções polidas como em grãos. A seguir são apresentadas as imagens obtidas para análise em seções polidas.

A figura 17A a seguir foi obtida a partir da seção polida da amostra B3 e apresenta um dos tipos de ocorrência de chumbo das amostras, que é em forma de “inclusão” em partículas maiores de óxido de ferro, onde esse óxido pode ser magnetita ou hematita. A figura 17B apresenta o resultado obtido com análise por EDS no ponto 1, sugerindo a ocorrência de chumbo predominantemente e de algum ferro. A figura 17C apresenta o resultado obtido com análise por EDS no ponto 2, onde a quantidade de ferro e oxigênio é um pouco maior comparada a da análise anterior.



(A)

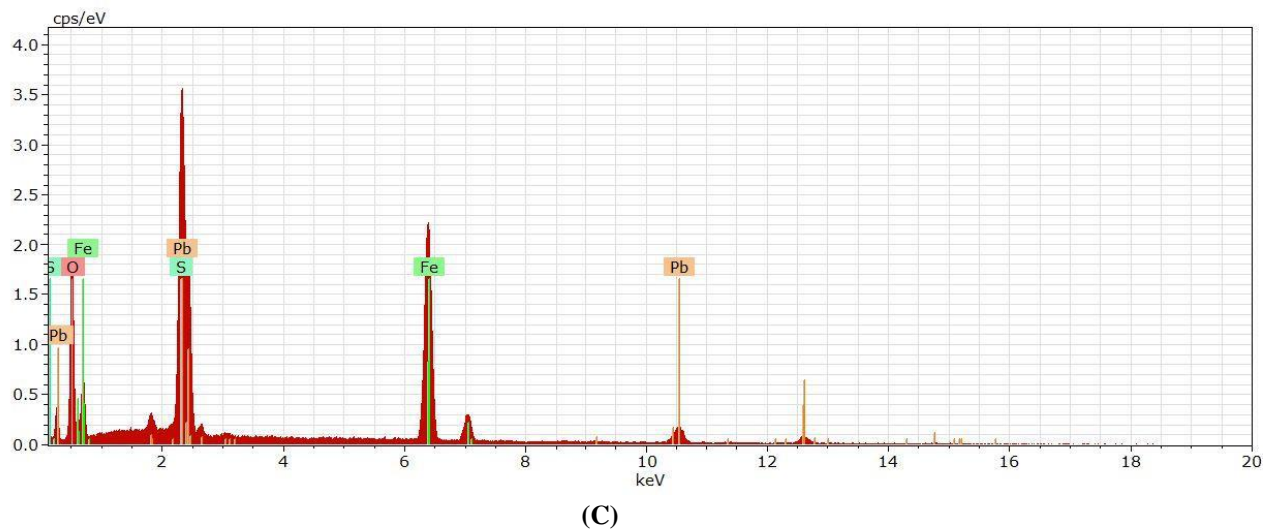
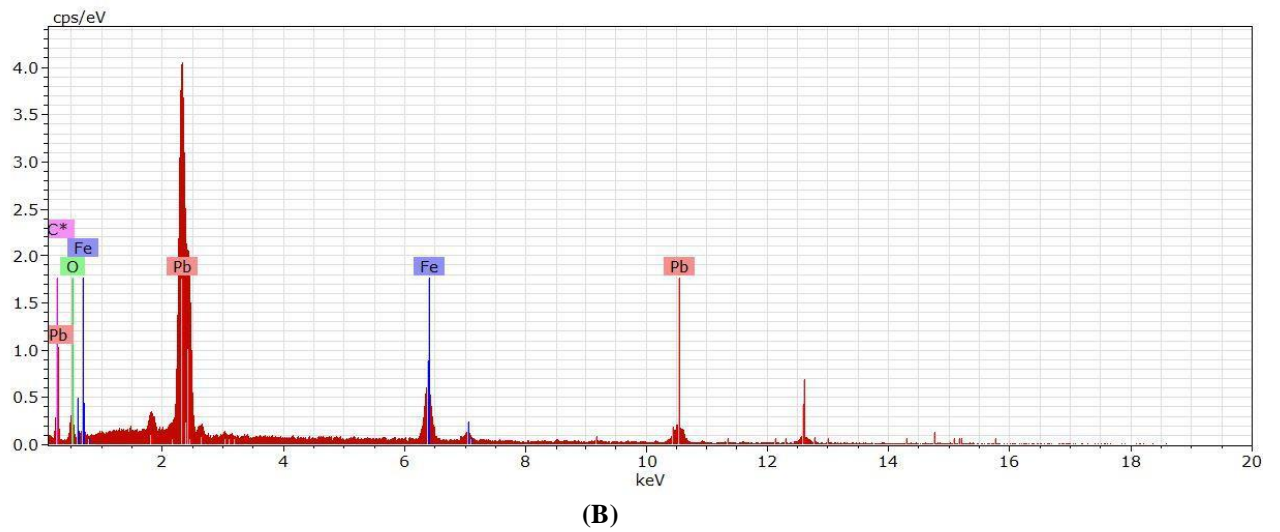
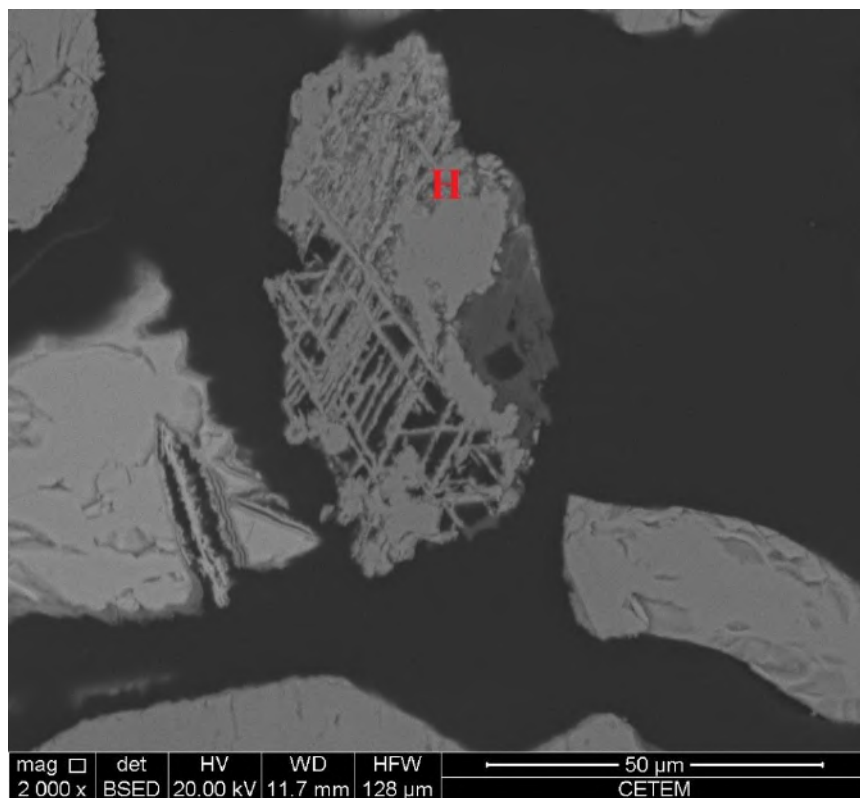
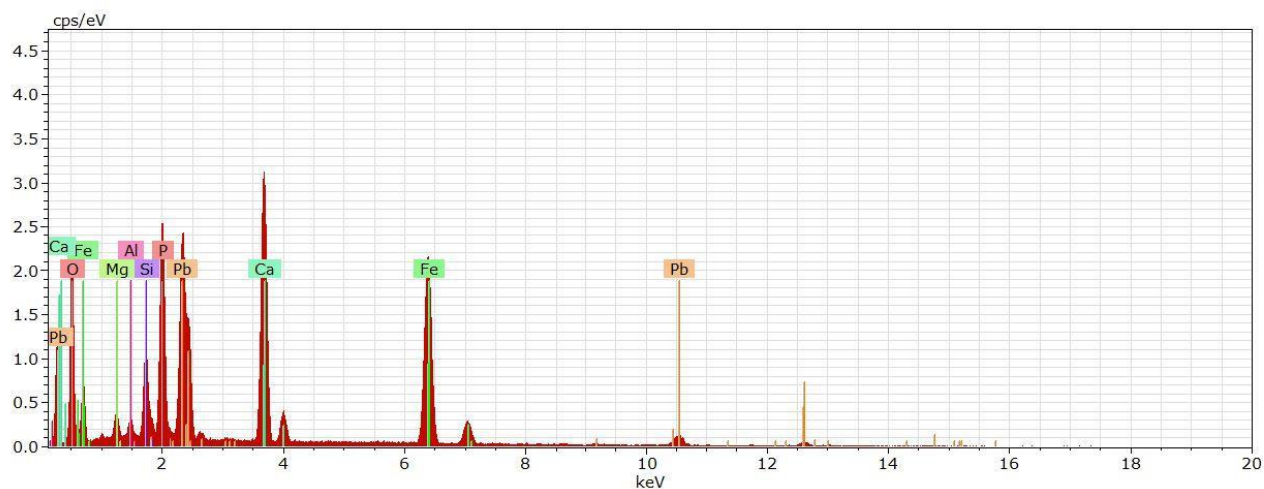


Figura 17. Imagem referente à seção polida da amostra B3. (A) Tipo de ocorrência do chumbo “incluso” em partícula de óxido de ferro. (B) Análise por EDS realizada no ponto 1. (C) Análise por EDS realizada no ponto 2.

A figura 18A apresenta ao centro uma partícula de óxido de ferro que exemplifica o estágio final do processo de martitização que transformou o que primariamente eram cristais de magnetita em hematita. A análise com EDS observada na figura 18B mostra uma composição mais diversificada, possivelmente devido a uma interferência pelo material ao redor.



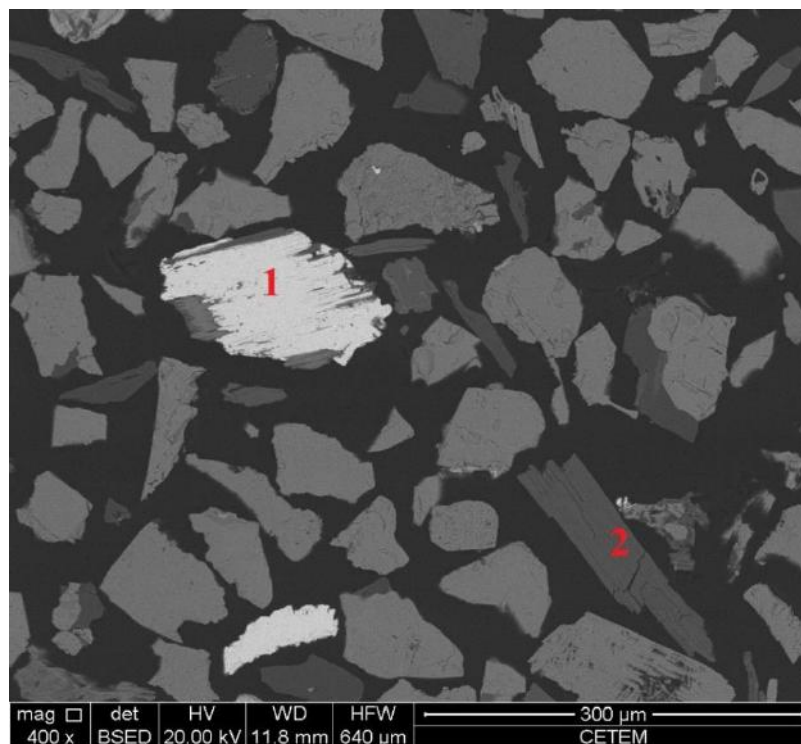
(A)



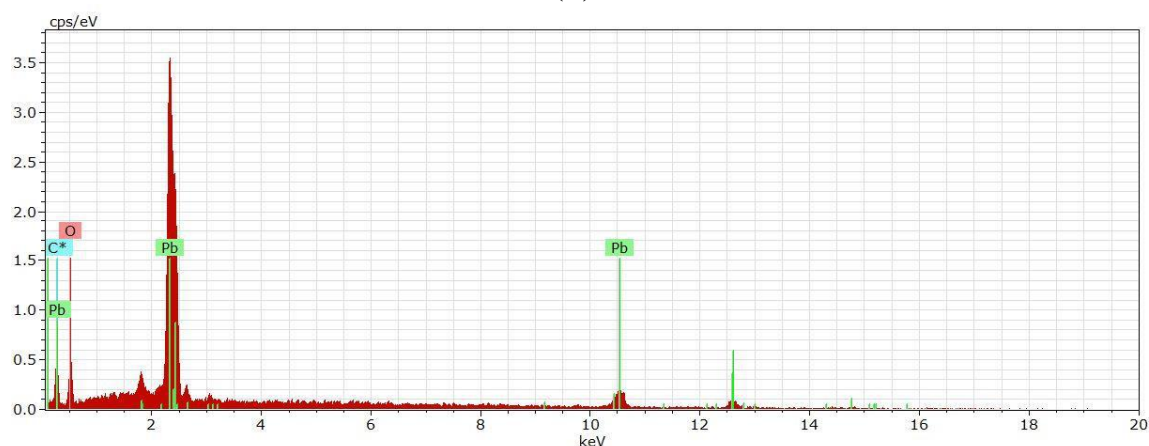
(B)

Figura 18. Imagem referente à seção polida da amostra B5. (A) Provável partícula de hematita. (B) Análise por EDS realizada na partícula da figura 18A.

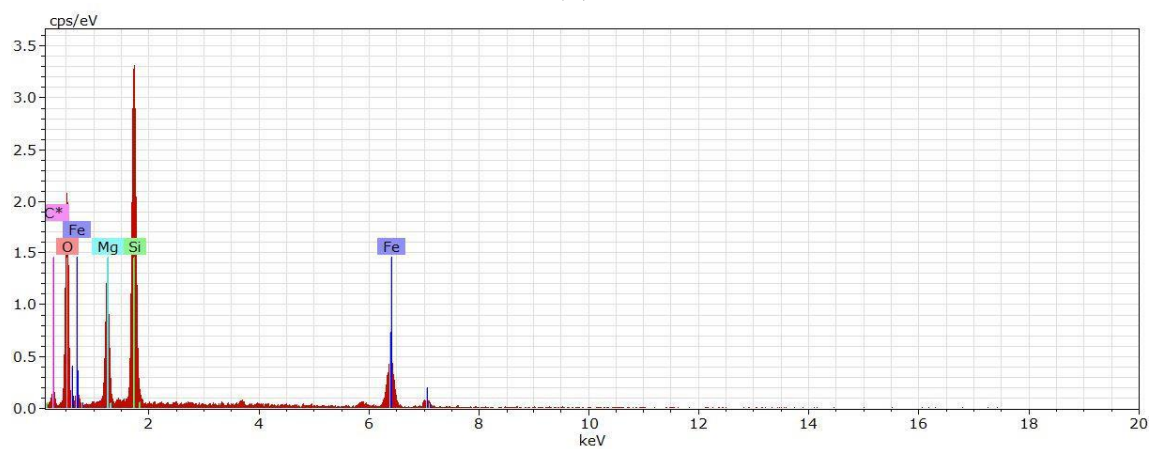
A figura 19A foi obtida através da seção polida da amostra B5, nela é possível observar duas partículas de interesse. A primeira (1) trata-se de um outro tipo de ocorrência de chumbo, nesse caso a ausência de S (enxofre) e presença de Pb na análise por EDS sugere ser a ocorrência comum a todas as amostras, que é na forma de partículas de cerussita. A segunda (2) trata-se de um mineral de hábito fibroso, cuja correlação com a análise por EDS observada na figura 19C sugere uma possível partícula de lizardita ou mais provável cummingtonita.



(A)



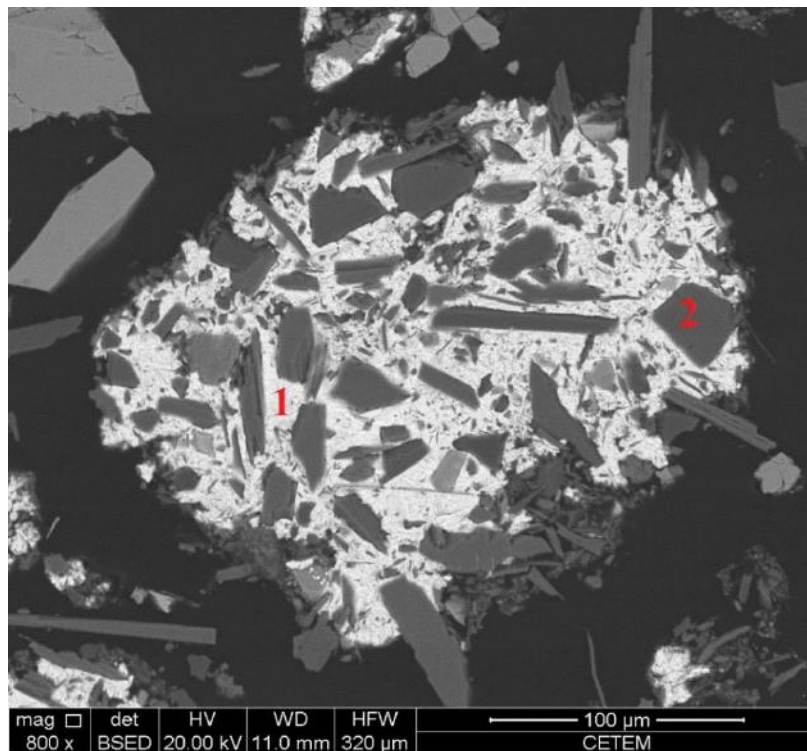
(B)



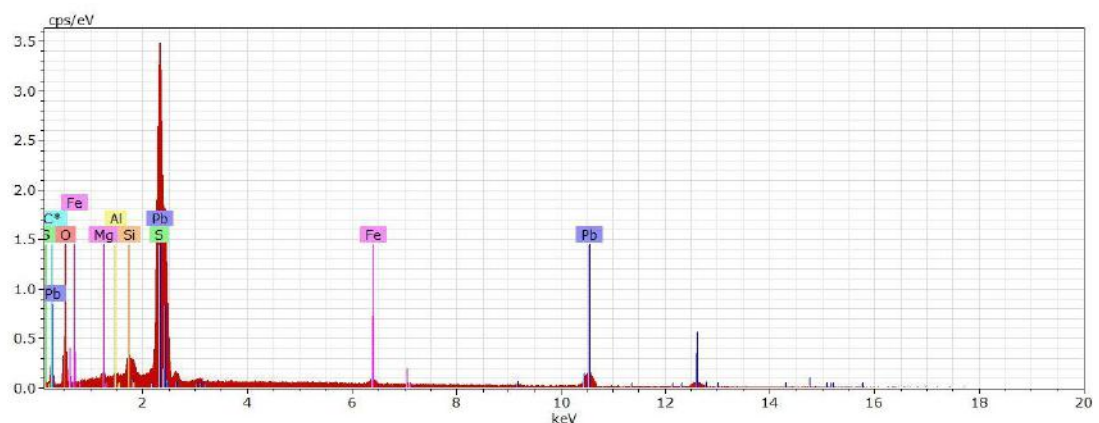
(C)

Figura 19. Imagem referente à seção polida da amostra B5. (A) Partícula de cerussita no ponto 1 e provável partícula de cummingtonita, lizardita ou talco no ponto 2. (B) Análise por EDS realizada no ponto 1. (C) Análise por EDS realizada no ponto 2.

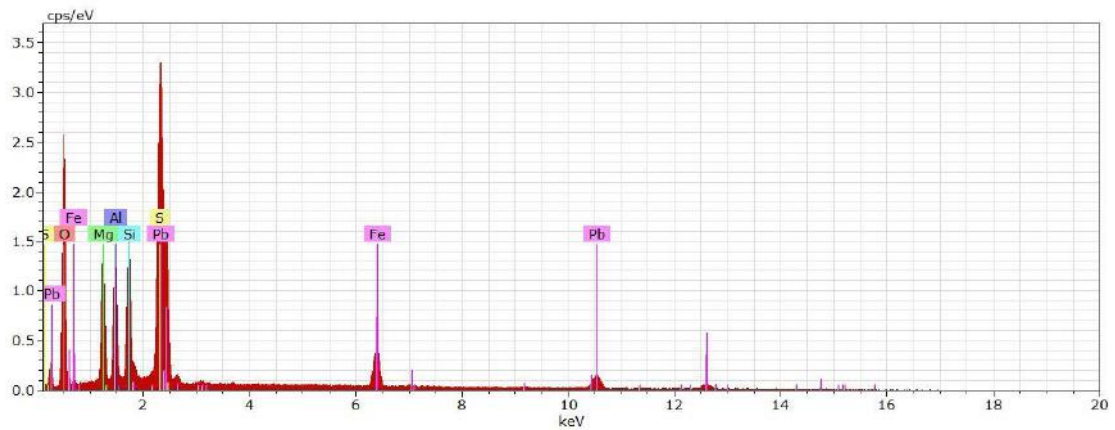
A figura 20A foi obtida através da seção polida da amostra B6, nela é possível observar uma feição muito característica dessa amostra, que é a ocorrência de chumbo em um tipo de “matriz” que contém partículas de diversos outros minerais. A análise com EDS sugere a presença principalmente de S e Pb nessa matriz. Uma correlação entre a morfologia dessa matriz observada no microscópio, a composição química sugerida pelo EDS, a recorrência dessa feição na seção polida e os valores observados na quantificação das fases minerais por Rietveld permite inferir que essa matriz é composta por anglesita. A análise com EDS feita na partícula 2 sugere que esse mineral seja um óxido de ferro.



(A)



(B)



(C)

Figura 20. Imagem referente à seção polida da amostra B6. (A) Matriz composta por anglesita (ponto 1) envolvendo diversas partículas de outros minerais, dentre eles uma partícula de anfibólio (ponto 2) possivelmente óxido de ferro. (B) Análise por EDS realizada no ponto 1. (C) Análise por EDS realizada no ponto 2.

A figura 21 mostra – de uma forma mais ampla – como é recorrente essa ocorrência de focos de anglesita ao longo de toda a seção polida da amostra B6.

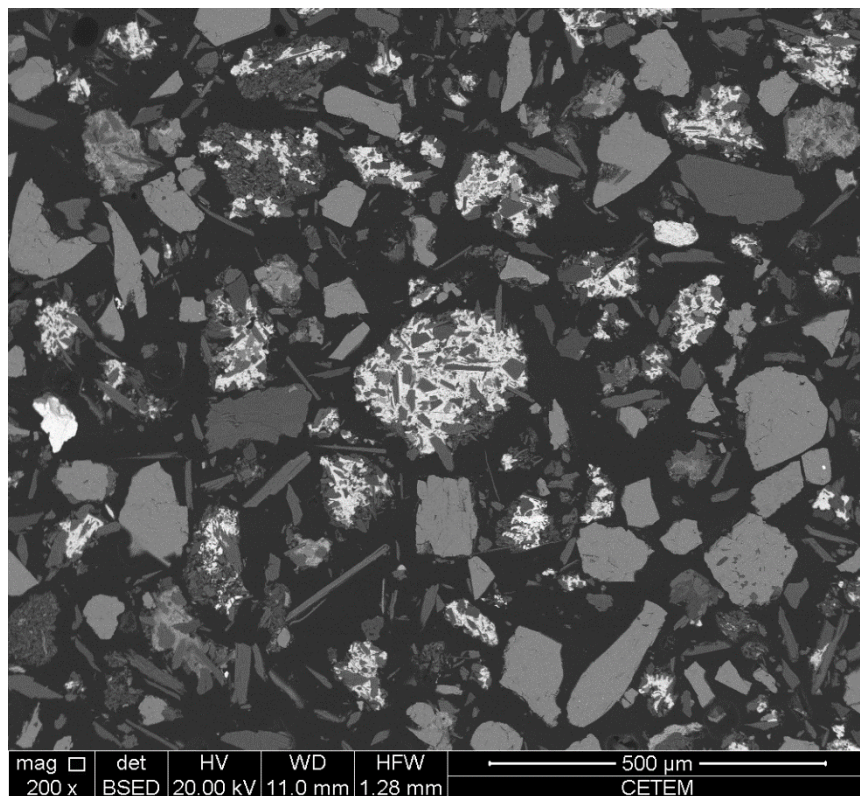
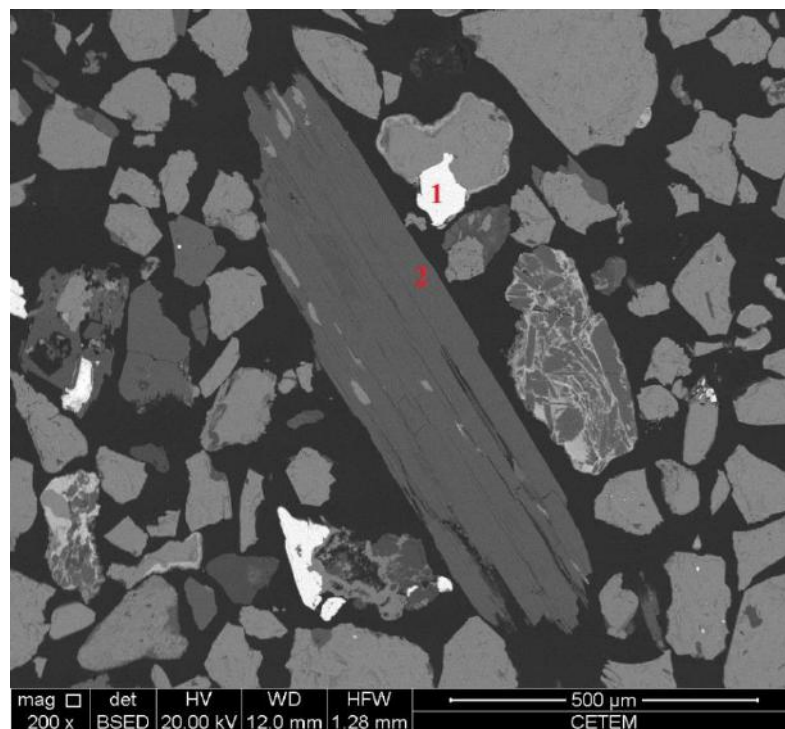
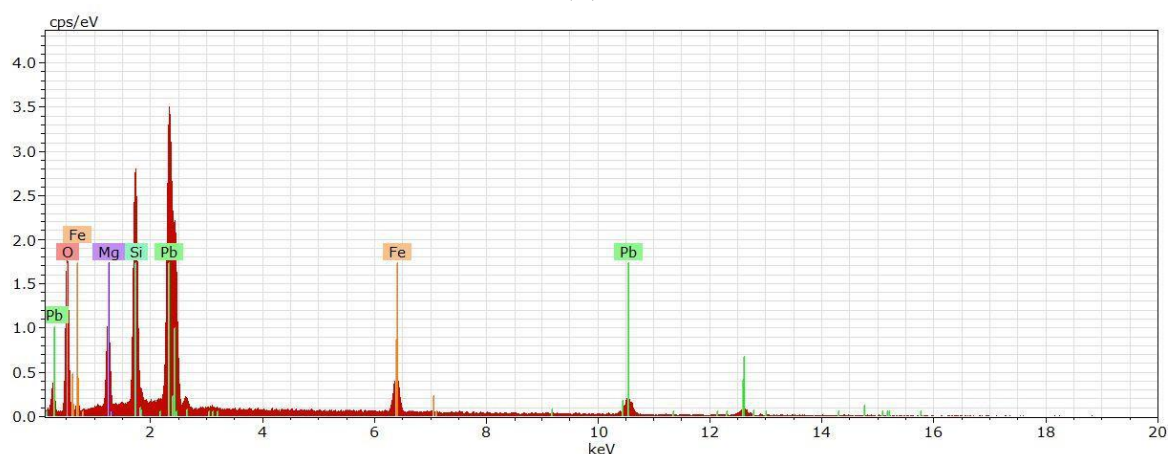


Figura 21. Imagem referente à seção polida da amostra B6. A figura apresenta, de forma ampla, a recorrência da feição observada na figura 20.

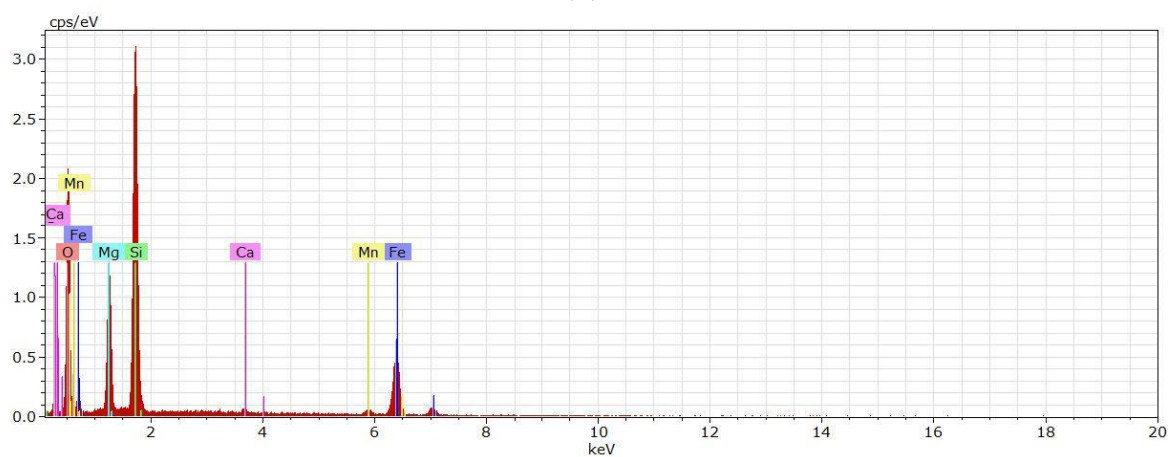
Na figura 22A é possível observar uma partícula bordejada por um mineral composto por chumbo, provavelmente uma cerussita (1) e uma partícula cuja composição química sugerida pelo EDS é semelhante a composição da cummingtonita, lizardita ou talco (2).



(A)



(B)



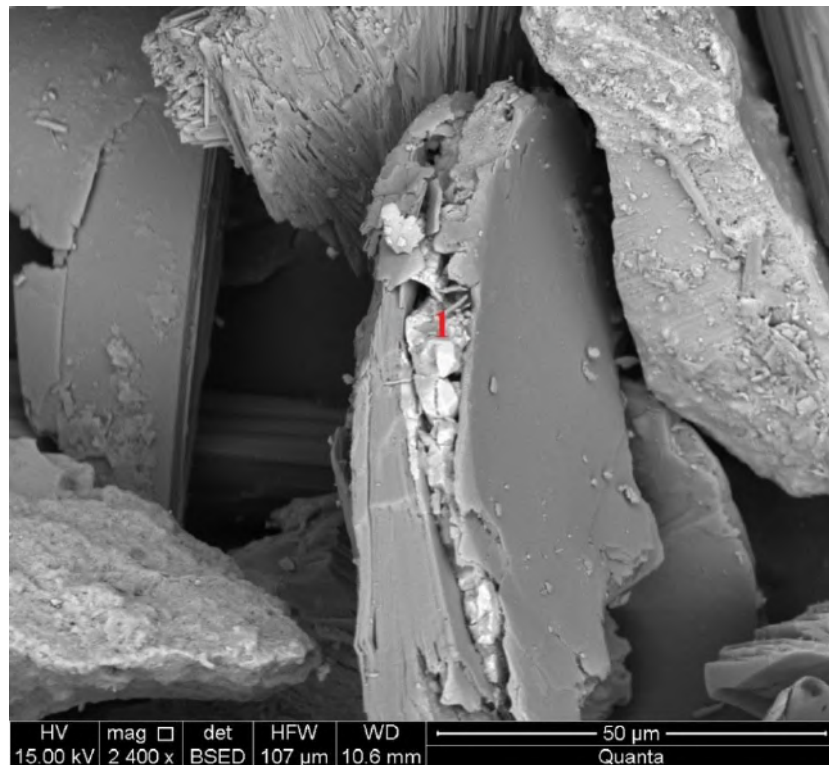
(C)

Figura 22. Imagem referente à seção polida da amostra B7. (A) Partícula contendo chumbo (ponto 1) e partícula de talco ou lizardita (ponto 2). (B) Análise por EDS realizada no ponto 1. (C) Análise por EDS realizada no ponto 2.

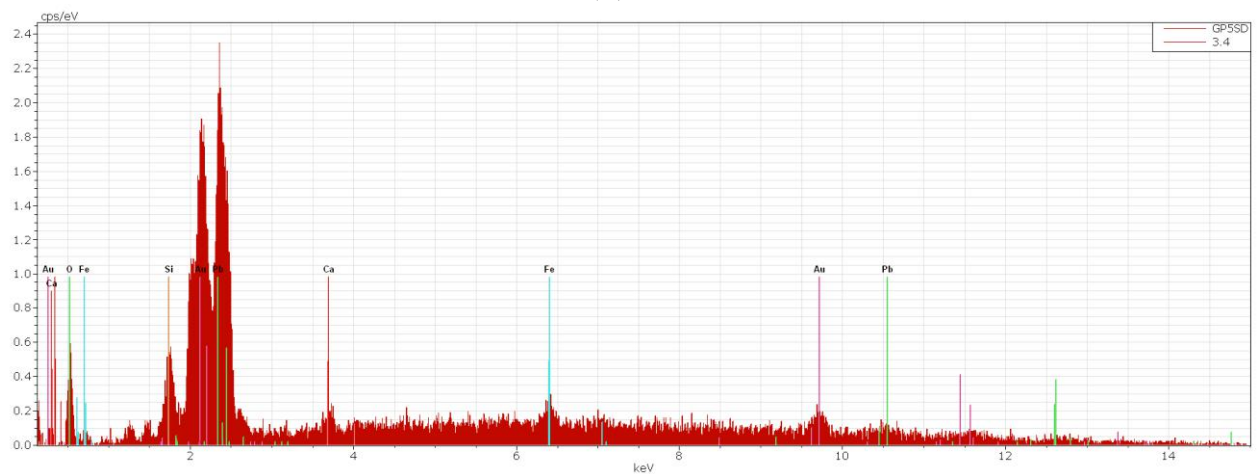
8.4.2 Grãos

A seguir são apresentadas as imagens obtidas através das análises em grãos, nos quais não foram realizados nenhum tipo de preparação especial como nas imagens do tópico anterior.

A figura 23A apresenta uma forma de ocorrência de chumbo na amostra B5, que é incluída em outros minerais. A análise com EDS na figura 23B confirma a presença do elemento chumbo, correlacionando essa informação com os outros métodos, esse chumbo possivelmente está na forma de cerussita.



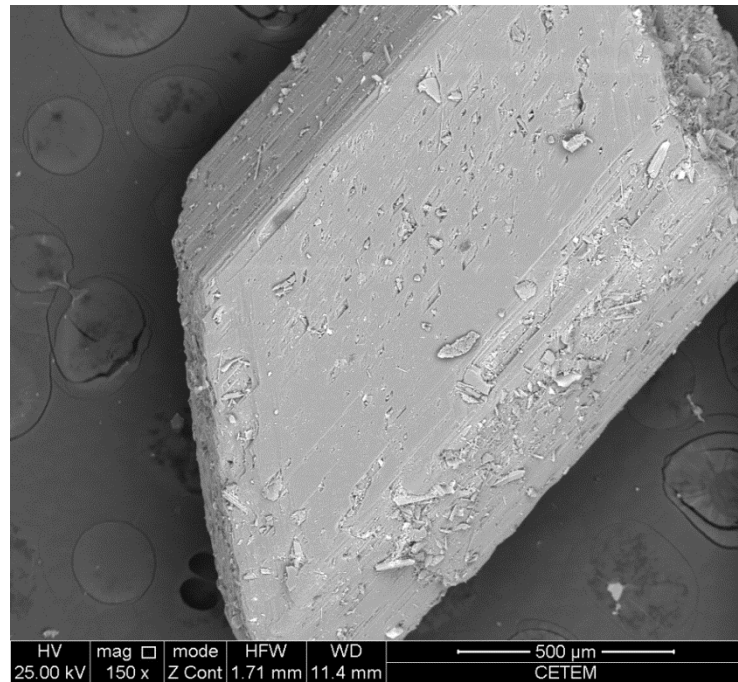
(A)



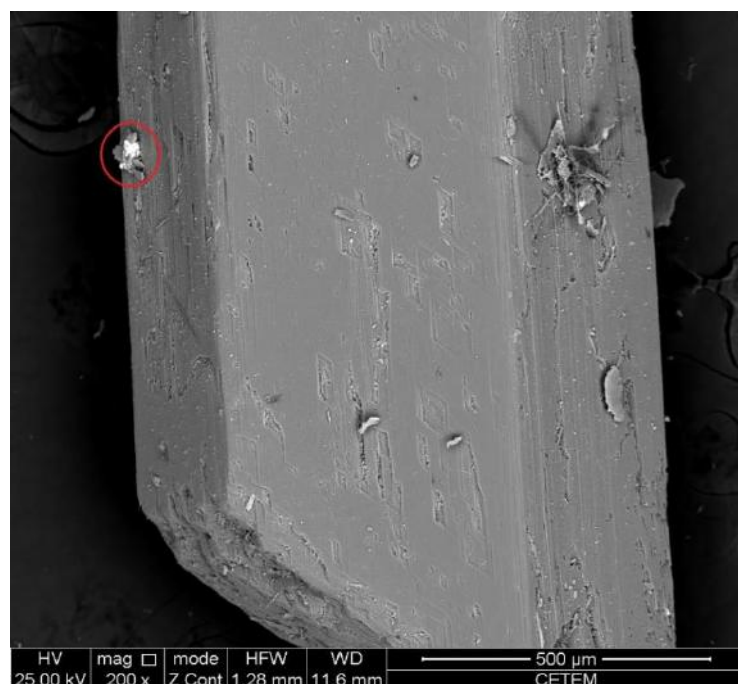
(B)

Figura 23. Imagens referentes a amostra B5. (A) Imagem de partícula contendo chumbo (ponto 1). (B) Análise por EDS realizada no ponto 1.

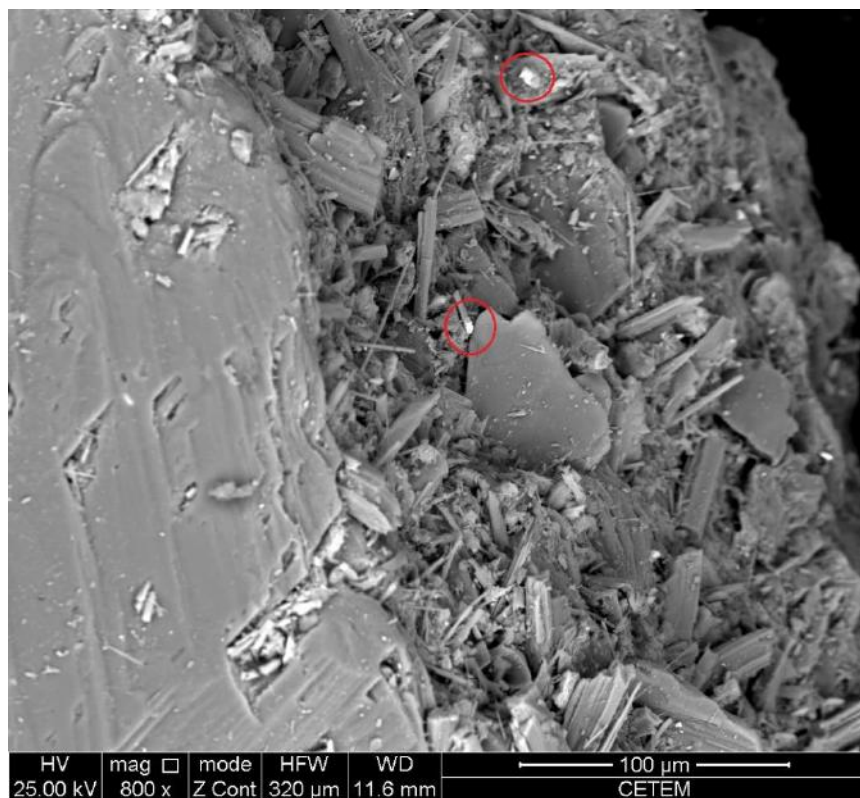
A figura 24A apresenta uma gipsita, mineral comum na fração flutuada da amostra B6. A sequência de figuras apresentadas a seguir mostra como os cristais de gipsita estão associados a pequenas ocorrências de chumbo (figuras 24 B e C). A figura 24D apresenta a composição química sugerida pela análise com EDS realizada no ponto ressaltado no centro da figura 24C. Tal análise sugere que o chumbo está ocorrendo associado a gipsita, entretanto é difícil distinguir se esse chumbo é devido a cerussita ou anglesita.



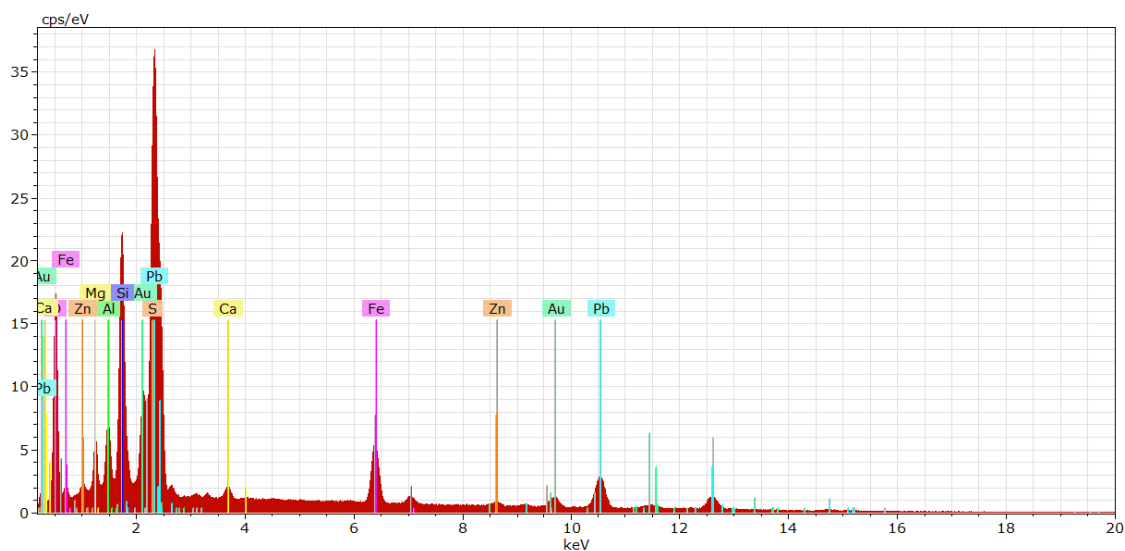
(A)



(B)



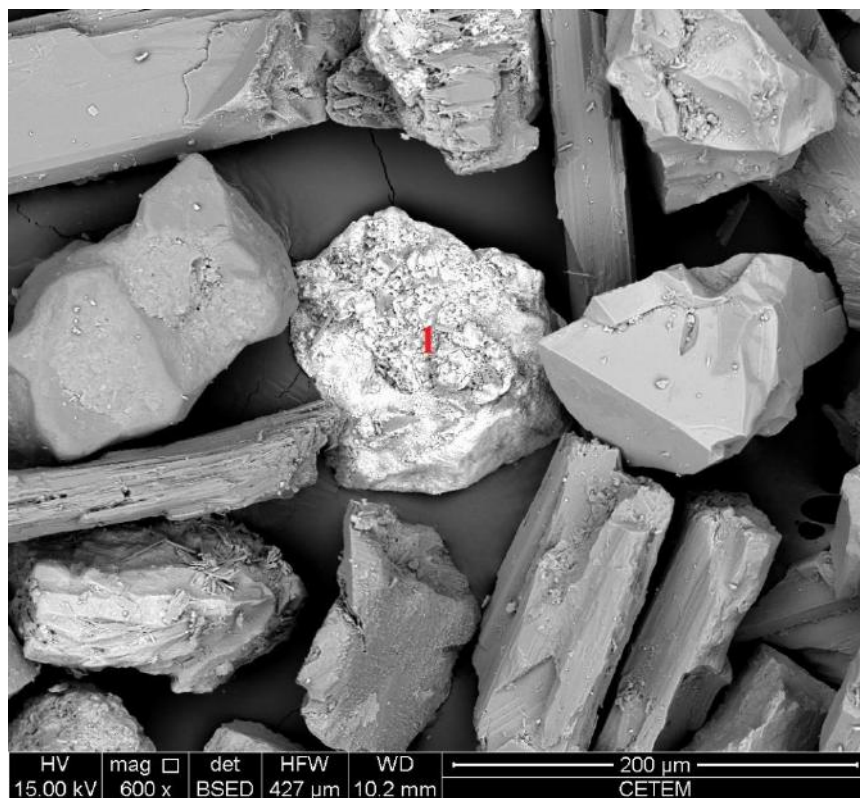
(C)



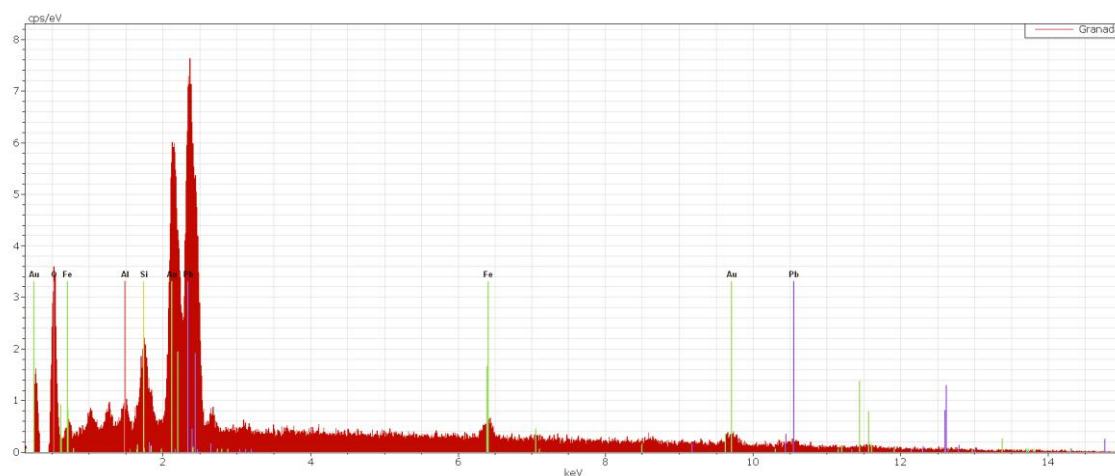
(D)

Figura 24. Imagens referentes à amostra B6. (A) Partícula de sulfato de cálcio. (B) Partícula de sulfato de cálcio associado com pequena partícula composta por chumbo. (C) Borda da partícula da imagem (A) mostrando ocorrência de chumbo. (D) Análise por EDS realizada no ponto ressaltado no centro da imagem (C).

A figura 25A apresenta, ao centro, uma partícula presente na amostra B7, cuja correlação com a análise por EDS (figura 25B) e DRX sugere ser uma partícula de cerussita.



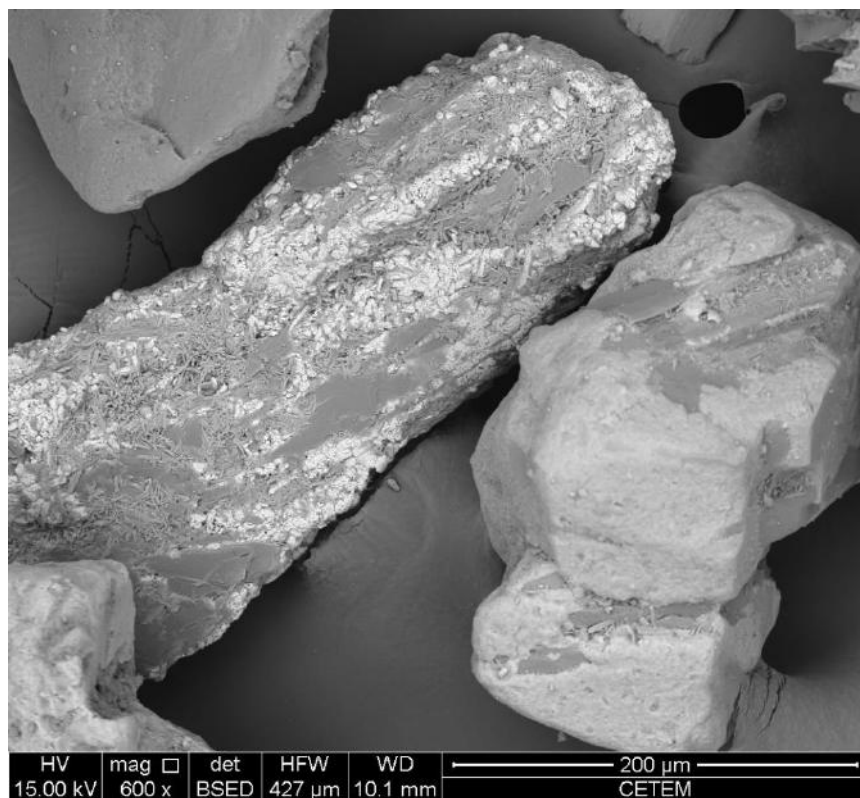
(A)



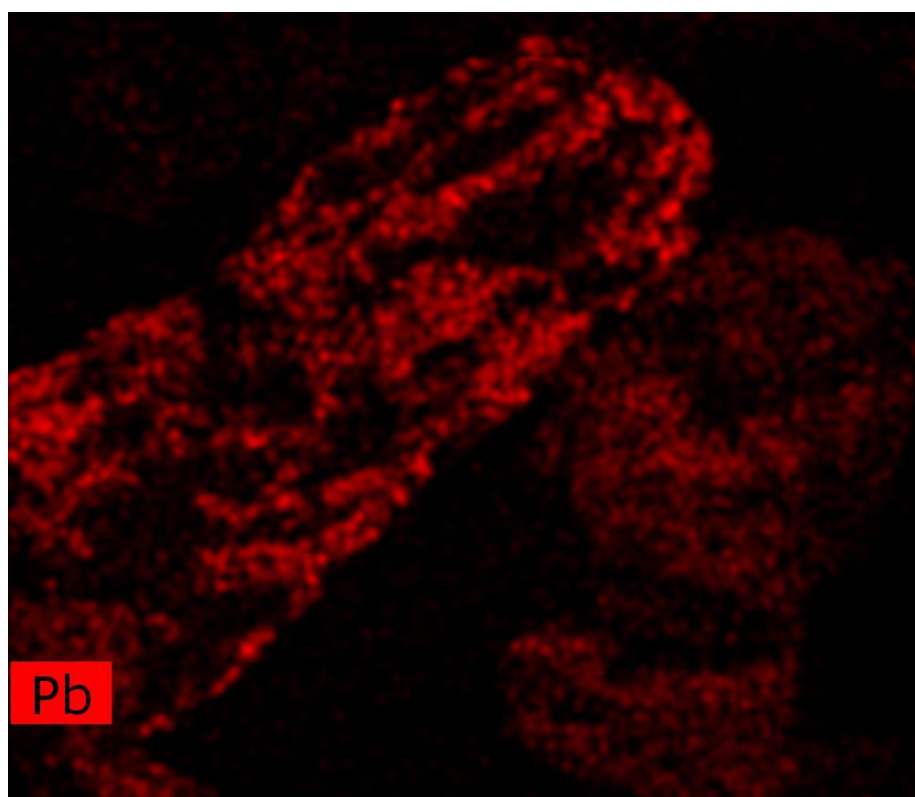
(B)

Figura 25. Imagens referentes a amostra B7. (A) Imagem de partícula contendo chumbo. (B) Análise por EDS realizada no ponto 1.

Nas imagens da figura 26 foi explorado um recurso no MEV que realiza um mapeamento de um elemento químico escolhido previamente. O resultado apresentado na figura 26B mostra que a “massa” de minerais observada é composta por chumbo nos pontos brancos.



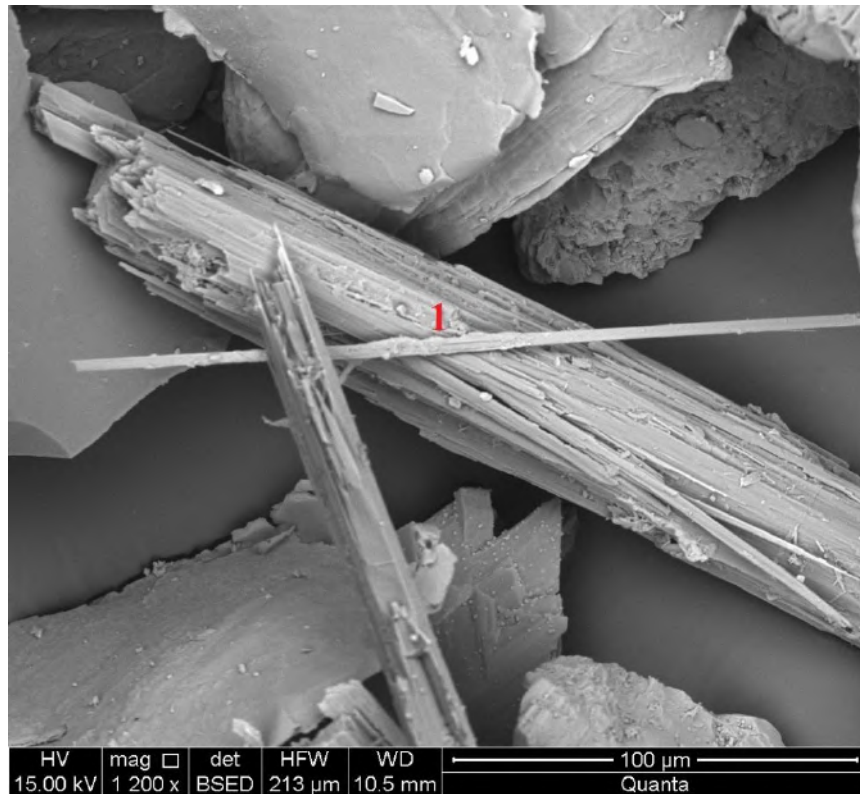
(A)



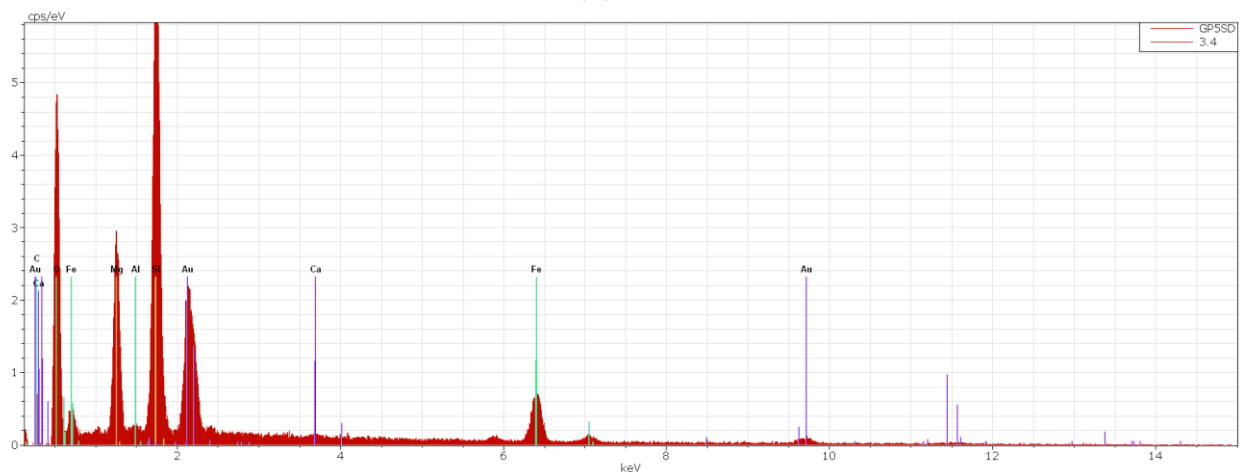
(B)

Figura 26. Imagens referentes à amostra B7. (A) Imagem de partícula contendo chumbo. (B) Mapeamento do elemento chumbo realizado na partícula da Figura 26A.

A figura 27A apresenta um mineral de hábito fibroso que ocorre em todas as amostras estudadas. A composição química sugerida pela análise por EDS (figura 27B) pode ser relacionada com a composição química dos minerais cummingtonita, lizardita e talco, anteriormente identificados por DRX.



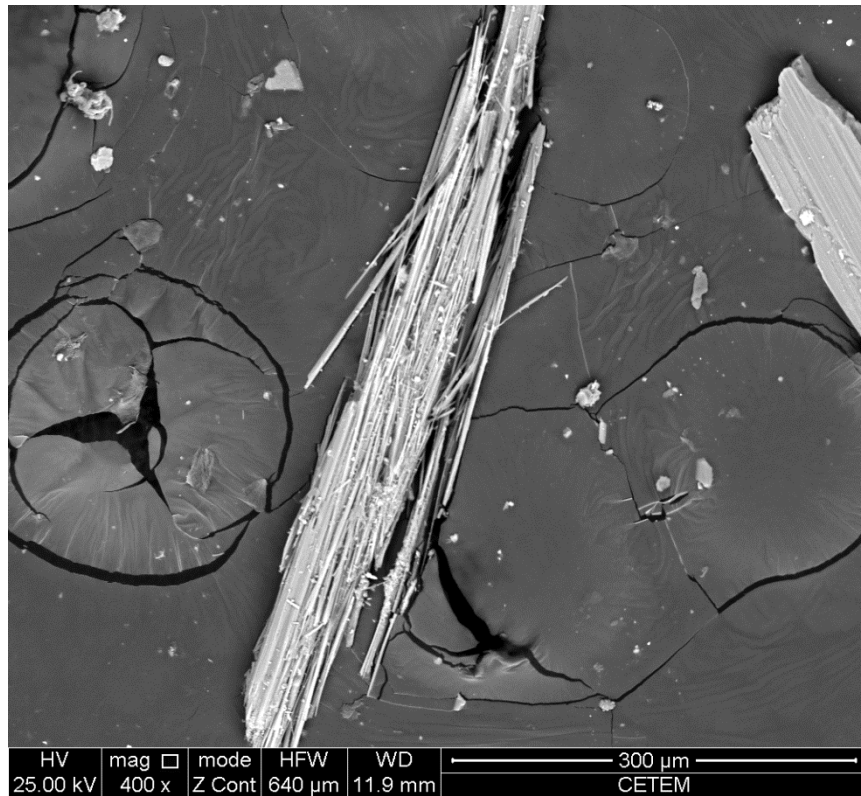
(A)



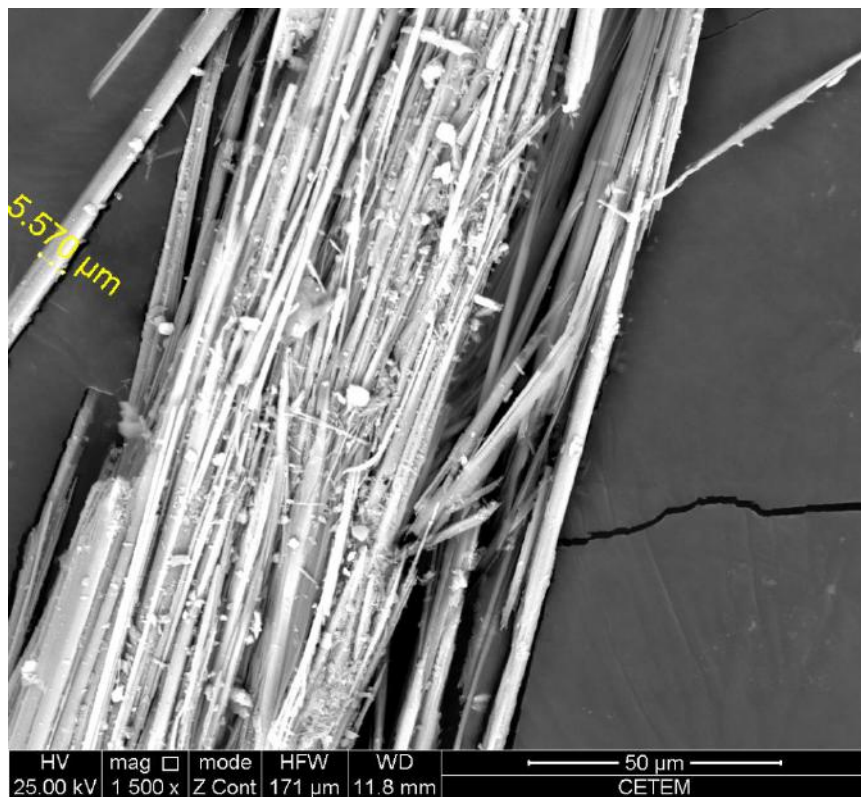
(B)

Figura 27. Imagens referentes a amostra B5. (A) Imagem de partículas fibrosas. (B) Análise por EDS realizada no ponto 1.

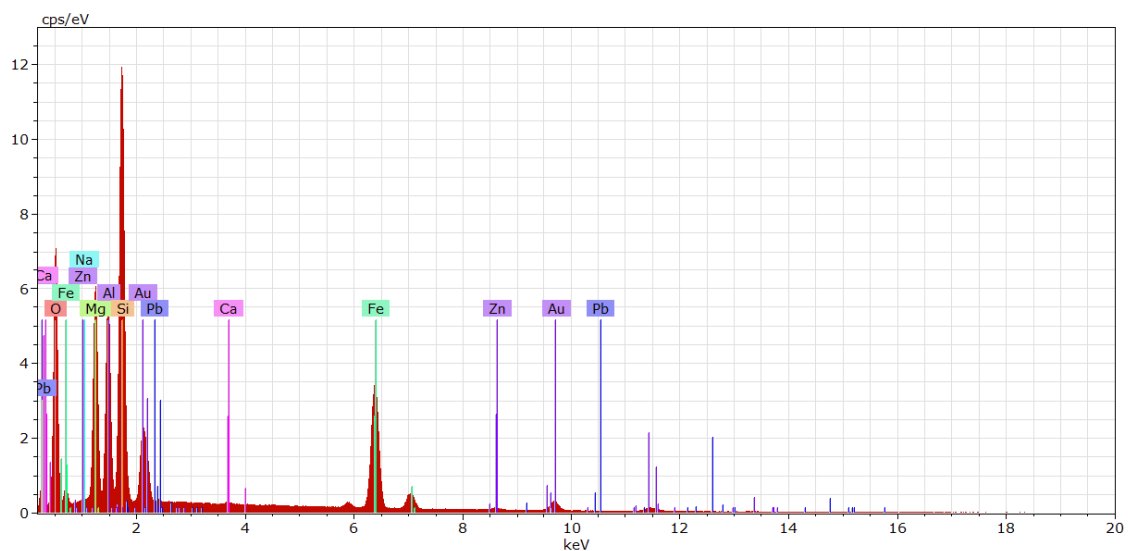
A figura 28A apresenta um mineral muito semelhante ao observado nas imagens da figura 27. Na figura 28B é ressaltado como esse material fibroso é fino. A análise por EDS (figura 28C) sugere composição química semelhante a dos minerais citados anteriormente.



(A)



(B)



(C)

Figura 28. Imagens referentes à amostra B6. (A) Imagens de partículas fibrosas. (B) Aumento na partícula da figura anterior. (C) Análise por EDS realizada na partícula apresentada.

9. CONCLUSÕES

Os resultados indicam que as amostras coletadas em diferentes pontos da antiga bacia de rejeito e no seu entorno apresentam elevados teores de chumbo, maiores que os sugeridos pela resolução 420/2009 do CONAMA como limite para áreas residenciais (300 mg/kg). O chumbo está distribuído nos minerais galena (PbS), cerussita (PbCO₃) e anglesita (PbSO₄), representando um potencial risco à saúde da população que vive na sua proximidade.

A resolução 420/2009 do CONAMA dispõe de critérios e valores orientadores de qualidade para presença de determinadas substâncias em solo, dentre tais substâncias está o chumbo, como elemento químico já liberado. A situação observada no caso estudado não se aplica a essa resolução devido à pilha de rejeitos não fazer parte do solo e devido ao chumbo ainda não estar liberado da estrutura dos minerais. Dessa forma a relação feita entre os dados obtidos nesse trabalho e a resolução é estritamente comparativa, haja visto que não foi encontrada uma norma reguladora para o caso específico estudado.

Entretanto, de acordo com Bosso et al. (2008) em seu estudo, os minerais anglesita e cerussita apresentam respectivamente média e alta biodisponibilidade. O tamanho de partícula dos minerais também influi, sendo que partículas pequenas – como é o caso do material das amostras aqui estudadas, que encontra-se em uma fração de granulometria predominantemente inferior a 0,297 mm de diâmetro – podem apresentar alta biodisponibilidade. Outro fator que também influencia é o material que recobre as partículas de chumbo. Segundo Bosso et al. (2008) as partículas recobertas por óxidos de Pb ou óxidos de Fe e Pb – comumente observadas nas análises com MEV realizadas – podem apresentar alta e média biodisponibilidade respectivamente.

Sendo assim, dada a correlação com os parâmetros de biodisponibilidade estipulados por Bosso et al. (2008), pode-se afirmar que o material das amostras estudadas apresentam de média a alta biodisponibilidade e uma mudança do cenário atual para um cenário que se aplique a resolução 420/2009 do CONAMA pode vir a ocorrer com certa facilidade.

No que diz respeito à quantidade de minerais portadores de chumbo, obtidas através da quantificação das fases minerais das frações afundadas pelo método de Rietveld, pode-se afirmar que a quantidade de galena foi mínima, não ocorrendo em determinadas amostras e tendo como máximo o valor de 0,4% na amostra B7. A dificuldade para se identificar esse mineral a partir dos métodos de microscopia pode até colocar em dúvida a sua real ocorrência

nas amostras. A cerussita ocorreu regularmente em todas as amostras, apresentando um valor mínimo de 0,9% na amostra B3 e máximo de 2,2% na amostra B7. E a anglesita ocorreu somente em uma amostra, sendo, porém, o maior teor de mineral portador de chumbo observado, 17,6% na amostra B6.

Tal associação mineralógica permite realizar uma correlação com as informações descritas no tópico de geologia local e afirmar que o material estudado pertence predominantemente à porção alterada da mineralização, que ocorre a uma profundidade de 20 m e apresenta o mineral já oxidado (dentre eles cerussita e anglesita).

Constituindo outro foco de contaminação que também merece atenção, foram identificados dois minerais de hábito fibroso e composição química semelhante (silicatos hidratados de magnésio): lizardita e cummingtonita. A lizardita é um mineral do grupo das serpentinas e a cummingtonita é um anfibólio, ambos os minerais são consumidos industrialmente como amianto. A porcentagem média de cummingtonita e lizardita observada na fração flutuada foi de respectivamente 27,56% e 0,98% e para a fração afundada foi de 22,91% e 0,76%.

De acordo com o INCA (Instituto Nacional de Câncer), a exposição ao amianto está relacionada à ocorrência de diferentes patologias, malignas e não malignas. Entre as principais doenças relacionadas ao amianto, temos: asbestose, câncer de pulmão, câncer de laringe, trato digestivo e ovário ou mesotelioma.

Do ponto de vista econômico pode-se dizer que os três minerais de chumbo são considerados minerais de minério e que os teores observados estão acima do que é considerado como sendo teores de jazida (0,5 a 3%). Além de Pb o material também apresenta elevados teores de Fe, que está presente nos minerais hematita e magnetita. Os teores de hematita observados nas frações afundadas equivalem em média a aproximadamente 20,5% e os teores de magnetita 28,9%.

Com base nessas informações, pode-se dizer que se faz necessário uma avaliação para determinar a quantidade exata de material presente na antiga bacia de rejeitos. E com base nesse valor, avaliar se uma possível solução para essa questão ambiental, não é o próprio reprocessamento mineral e consequente reciclagem.

Ainda que a opção sugerida dê resultados positivos, o provável resíduo oriundo do reprocessamento do material deverá ser encapsulado, eliminando qualquer possibilidade de contato entre o resíduo e a população que vive no entorno.

10. Referências Bibliográficas

- Anjos J.A.S.A., Sanchez L.E. 2001. Plano de Gestão ambiental para sítios contaminados com resíduos industriais: o caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação - BA. In: Bahia Análise & Dados, Salvador/BA. Disponível em: http://jangello.unifacs.br/downloads/Projeto_Purifica.pdf. Acessado em: 06 mar 2014.
- AG Solve. Os seis poluentes tóxicos que mais ameaçam o planeta. Disponível em: <http://www.agsolve.com.br/noticias/os-6-poluentes-toxicos-que-mais-ameacam-o-planeta>. Acessado em: 06 mar 2014.
- Araújo O., Pinheiro C. 2004. História de Boquira Online, 2004. Disponível em: http://www.cetem.gov.br/santo_amaro/pdf/Boquira.pdf. Acessado em: 06 mar. 2014.
- ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Division of Toxicology and Environmental Medicine. Toxicological Profile for Lead, Atlanta, Georgia, 2007. 582 p.
- Barrero F.M.C. 2008. Análise de áreas degradadas pós mineração em municípios da Bacia do rio Paramirim. Disponível em: http://www.iica.int/Esp/regiones/sur/brasil/Lists/DocumentosTecnicosAbertos/Attachments/489/Fl%C3%A1vio_Marques_Castanho_Barrero_-_107444_-_ING%C3%81.pdf. Acessado em: 13 set. 2012.
- Bosso S.T & Enzweiler J. 2008. Ensaios para determinar a (Bio)disponibilidade de chumbo em solos contaminados: revisão. Quim. Nova, Vol.31, No.2: 394-400.
- BRASIL (a). Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. DOU. Brasília, DF, seção 1, 03 ago. 2010, p. 3, 2010.
- BRASIL (b). Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. DOU. Brasília, DF, seção 1., Edição Extra. 23/12/2010, p. 123. 2010.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n.º 1339/GM, de 18 de novembro de 1999. Dispõe dos quadros clínicos que podem decorrer de exposições elevadas a chumbo metálico. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 de novembro de 1999. Anexo.
- CAMELO, Marta Sawaya Miranda. Fechamento de mina: análise de casos selecionados sob os focos ambiental, econômico e social, 2006, 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica). Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (MG). Disponível em: http://www.nugeo.ufop.br/joomla/attachments/article/11/PaginasArquivos_16_76.pdf. Acesso em: 14 set. 2012.
- Cassedanne J.P. 1972. Catalogue descriptif des gîtes de plomb du Brésil. Tese de doutorado, Sciences Naturelles, Department de Geologie et Mineralogie, Université de Clermond-Ferrand, França
- CDC, 1991. Centers for Disease Control & Prevention. U.S.Department of Health and Human Services. Preventing lead poisoning in young children. Atlanta, U.S.Government Printing Office.
- CPRM 2014. Mapa Geológico da Cidade de Boquira. Disponível em: <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>. Acessado em: 24 nov 2014.
- DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral 2006. DNPM e Secretaria de Meio Ambiente da Bahia se reúnem em Salvador. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=99&IDPagina=72&IDNoticia=196>. Acessado em: 06 mar 2014.

Fernandes F.R.C., Bertolino L.C., Egler S.G. 2012. Projeto Santo Amaro – BA, Aglutinando ideias, construindo soluções. Diagnóstico. CETEM, Rio de Janeiro, 260 pg.

Ferran A.P.N. 2007. A Mineração e a flotação no Brasil - Uma perspectiva histórica. Disponível em: http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=2483 . Acessado em: 06 mar 2014.

Figueiredo B.R., Capitani E.M., Gitahy L.M.C. 2004. Exposição humana à contaminação por chumbo e arsênio no Vale do Ribeira (SP-PR). In: Segundo Encontro da ANPPAS, 2004, Indaiatuba. Papers CD-Rom. Campinas: ANPPAS, 2004.

IBGE (a) - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Boquira (BA). In: IBGE Cidades. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfil.php?codmun=290410&r=2>. Acessado em: 06 mar 2014.

IBGE (b) - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Santo Amaro (BA). In: IBGE Cidades. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfil.php?codmun=292860&r=2>. Acessado em: 06 mar 2014.

INCA 2014. Fatores de Risco: Amianto. Disponível em: http://www1.inca.gov.br/conteudo_view.asp?ID=15. Acessado em: 24 nov 2014.

Jardim de Sá E.F., Bartels R.L., et al. 1976. Geocronologia e o modelo tectonomagmático da Chapada Diamantina e Espinhaço Setentrional, Bahia. In: 29ª Congresso Brasileiro de Geologia, Ouro Preto, Anais, v. 4, p. 185-227.

Malik A., Jaiswal R. 2000. Metal resistance in Pseudomonas strains isolated from soil treated with industrial wastewater. World Journal of Microbiology and Biotechnology, Netherlands, 01 mar. v.16, n.2, p. 177-182, 2000.

Manzoni P., Minas R. 2002. Poluição por chumbo em Santo Amaro da Purificação. In: Instituto para o Desenvolvimento Ambiental. Disponível em: http://jangello.unifacs.br/stoamaro/poluicao_stoamaro.htm. Acessado em: 06 mar 2014.

Manzoni P., Minas R. Poluição por Chumbo em Santo Amaro da Purificação. Disponível em: http://jangello.unifacs.br/stoamaro/poluicao_stoamaro.htm. Acessado em: 24 nov 2014

Mascarenhas J.F., Pedreira A.J., Gil C.A., Neves J.P., Oliveira J.E., Silva Filho M.A., Marinho M.M. 1979. Geologia da Região Centro-Oriental da Bahia – Projeto Bahia – Bahia II – Sul da Bahia; Relatório Integrado. Brasília, MME/DNPM, (Geologia Básica n°. 8), 128p.

McReath I., Jardim de Sá E.F., Fryer B.J. 1981. As vulcânicas ácidas proterozóicas da região da Bacia do Rio Paramirim-Bahia. In: Inda, H., Marinho M.M., Duarte F.B. orgs – Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia, Textos Básicos, vol. 4. Salvador, SME/CPM p. 121-134.

Ministério da Saúde 1999. Portaria n° 1339/GM em 18 de novembro de 1999. Disponível em: <http://dtr2001.saude.gov.br/sas/PORTARIAS/Port99/GM/GM-1339.html>. Acessado em: 07 mar 2014.

Ministério do Meio Ambiente 2011. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf. Acessado em: 07 mar 2014.

Ministério do Meio Ambiente 2009. Resolução CONAMA n° 420. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acessado em: 24 nov 2014.

Pedreira A.J., Kishida A., Torquato J.R., Mascarenhas J.F. 1978. Inventário e reavaliação do conhecimento geológico da parte central do cráton do São Francisco. In: Reunião Preparatória para o simpósio sobre o Cráton

do São Francisco e suas faixas marginais, Salvador, 1977. Anais Salvador, SBG./SME/CPM, p. 67-154 (Pub. Esp. n° 3).

Rebouças D.S., Guimarães C.R.R. 1995. Intoxicação crônica familiar por chumbo. Rev. Bras. Toxicol., v.8, n.1, p. 160, 1995.

Rocha G.M.F. 1985. Características das fácies ferríferas de Boquira – encaixante da mineralização de chumbo-zinco. Dissertação de Mestrado, Univ. Fed. Bahia, Salvador, Bahia 96 p.

Schobbenhaus C., Coelho C.E.S. 1988. Principais depósitos minerais do Brasil. Vol. 3 – Metais básicos não ferrosos, ouro e alumínio. Publicação do Convênio DNPM/CVRD/CPRM, Brasília (DF, Brasil), 670 p.

WHO – World Health Organization 1989. IPCS. Environmental health criteria 895 – lead –environmental aspects. Geneva. Disponível em: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc85.htm>. Acessado em 07 mar 2014

WHO – World Health Organization 1995. The World Health Report 1995: Bridging the gaps. World Health Organization Switzerland, Geneva, 123p.

Anexo 1. Composição química das amostras brutas obtida através de FRX. Resultados expressos em percentagem de óxidos normalizados a 100%.

Amostra	B1		B2		B3		B4		B5		B6		B7	
Preparação	Fun	Pren	Fun	Pren	Fun	Pren	Fun	Pren	Fun	Pren	Fun	Pren	Fun	Pren
Na₂O	ND	0,03	ND	0,1	ND	0,06	ND	ND	0,1	0,1	0,27	0,29	0,06	ND
MgO	3,9	5,1	12,5	14,7	5,4	7,1	7,3	9,7	4,9	6,3	9,6	10,9	3,9	4,5
Al₂O₃	1,1	1,4	2,5	2,4	1,1	1,5	1,1	1,2	1,3	1,6	4,1	4,8	1,8	2,9
SiO₂	42,9	43,8	43,3	39,5	40,2	36,9	36,4	35,1	45,1	48,3	38,5	38	43,7	49,2
P₂O₅	0,09	0,07	0,1	0,11	0,07	0,07	0,08	0,08	0,14	0,2	0,1	0,15	0,1	0,14
SO₃	0,64	0,88	2,2	4,4	0,54	0,93	0,3	0,43	0,3	0,72	1,4	2,8	0,5	1,2
K₂O	0,13	0,14	0,4	0,39	0,09	0,16	0,06	0,09	0,11	0,09	0,23	0,22	0,15	0,18
CaO	2,7	3,1	5,2	5,6	4,1	5,2	4	4,3	1,4	1,4	2,8	2,8	1,1	1,4
TiO₂	0,05	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,07	0,04	0,23	0,17	0,3	0,2
Cr₂O₃	ND	0,02	ND	0,02	ND	ND	0,05	ND	ND	ND	ND	0,02	ND	ND
MnO	0,85	0,81	1,2	1,1	1	1,1	1,1	1,1	0,79	0,77	1	1	0,71	0,87
V₂O₅			ND	ND					ND	ND	ND	ND	ND	ND
Fe₂O₃	42,4	39,2	22,9	21,9	42,2	41,6	44,2	42,5	41	35,5	27,7	27,8	43	34
CuO			0,03	0,02					ND	0,01	0,03	0,03	ND	0,03
ZnO	0,6	0,72	0,81	0,87	0,42	0,63	0,47	0,61	0,75	0,92	2,58	3,1	1,09	1,5
Rb₂O			ND	ND					ND	ND	ND	ND	ND	ND
SrO			ND	ND					ND	ND	ND	ND	ND	ND
ZrO₂	ND	0,01	ND	0,01	ND	0,01	ND	ND	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02
PbO	1,61	1,53	2	2	1,02	0,97	0,85	0,75	1,8	1,9	1,7	1,9	2,1	2,4
BaO			ND	ND					ND	ND	ND	ND	ND	ND
NiO			ND	ND					ND	ND	ND	ND	ND	ND
WO₃			ND	ND					ND	ND	ND	ND	ND	ND
I			ND	ND					ND	ND	ND	ND	ND	ND
CdO			ND	ND					ND	ND	4,9	1,1	ND	ND
PF	3,06		6,9		3,76		3,99		2,3		5		1,6	

Anexo 2. Composição química das frações 0,210, 0,105, 0,053 e - 0,053 mm de amostras lavadas. Obtido através de FRX por preparação a prensagem. Resultados expressos em percentagem de óxidos normalizados a 100%.

Amostra(mm)	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CuO	ZnO	PbO	Cl	CdO	ZrO ₂	CdO	PPC*
B1(0,210)	0,1	9,2	2,4	52,3	0,08	8,4	0,2	5,0	0,04	0,5	14,3	0,01	0,5	0,7	0,03	ND	ND	ND	6,3
B1(0,105)	ND	10,6	1,3	61,3	0,09	0,6	0,09	3,0	0,03	0,7	16,1	0,01	0,4	0,8	0,03	ND	ND	ND	4,9
B1(0,053)	0,08	7,6	1,1	45,2	0,1	1,9	0,06	3,4	0,05	0,9	33,5	0,02	0,6	1,4	0,04	ND	ND	ND	4,1
B1(-0,053)	0,1	7,3	1,4	41,5	0,2	2,3	0,08	2,1	0,05	0,6	38,7	0,02	0,6	1,9	0,02	ND	0,01	ND	3,1
B2(0,210)	0,04	7,3	1,6	19,5	0,05	35,9	0,2	19,5	0,04	0,4	8,3	ND	0,4	0,7	0,02	ND	ND	ND	6,2
B2(0,105)	0,08	16,7	2,8	43,8	0,1	2,6	0,2	4,4	0,05	0,9	18,5	0,02	0,7	1,6	0,01	1,0	ND	1,0	6,6
B2(0,053)	0,1	17,7	3,2	43,8	0,1	1,3	0,2	3,5	0,05	1,1	17,8	0,02	0,8	2,0	0,03	1,2	ND	1,2	7,0
B2(-0,053)	0,08	18,1	2,8	43,7	0,1	1,9	0,06	3,9	0,04	0,9	17,7	0,01	0,6	1,3	0,02	1,3	ND	1,3	7,5
B3(0,210)	ND	10,0	3,1	56,5	0,07	4,2	0,3	3,6	0,03	0,5	14,3	ND	0,6	0,6	0,02	ND	ND	ND	6,0
B3(0,105)	ND	13,6	1,5	55,9	0,08	0,5	0,09	4,5	0,02	0,8	15,8	ND	0,3	0,5	0,02	ND	ND	ND	6,2
B3(0,053)	0,09	10,7	1,1	29,5	0,1	2,2	0,07	5,9	0,05	1,2	41,7	ND	0,5	1,0	0,05	ND	ND	ND	5,8
B3(-0,053)	0,06	10,7	1,4	27,9	0,2	3,3	0,1	3,5	0,08	0,8	47,6	0,02	0,0	1,2	0,03	ND	ND	ND	2,8
B4(0,210)	0,08	17,3	3,1	45,2	0,1	2,6	0,4	2,9	0,05	0,8	19,9	0,02	0,9	1,2	0,01	ND	ND	ND	5,4
B4(0,105)	ND	16,8	1,9	53,9	0,07	0,2	0,1	3,3	0,04	0,9	16,0	ND	0,4	0,6	0,02	ND	ND	ND	5,6
B4(0,053)	0,07	14,7	1,5	37,5	0,1	0,8	0,4	6,5	0,04	1,3	29,3	0,01	0,5	0,5	0,1	ND	ND	ND	6,7
B4(-0,053)	0,1	13,7	1,1	32,6	0,1	1,2	0,04	3,7	0,06	0,8	41,4	0,0	0,5	0,7	0,03	ND	ND	ND	3,8
B5(0,210)	0,1	7,0	2,5	68,4	0,08	0,1	0,09	0,8	0,05	0,5	14,4	0,01	0,7	1,0	0,02	ND	ND	ND	4,2
B5(0,105)	0,1	8,3	1,4	61,8	0,1	0,4	0,07	1,3	0,03	0,6	20,2	0,01	0,6	1,0	0,02	ND	0,01	ND	3,8
B5(0,053)	0,1	7,2	1,5	46,6	0,1	1,2	0,08	1,6	0,04	0,9	34,2	0,02	1,1	2,4	0,1	ND	0,01	ND	2,8
B5(-0,053)	0,1	7,8	1,7	45,8	0,2	0,7	0,08	1,2	0,06	0,7	35,8	0,02	0,7	1,8	0,04	ND	ND	ND	3,1
B6(0,210)	0,2	13,7	6,2	41,4	0,2	2,6	0,3	2,6	0,1	0,8	20,5	0,02	2,1	1,4	0,02	0,89	ND	0,9	6,9
B6(0,105)	ND	13,5	5,2	41,2	0,1	2,6	0,2	2,5	0,1	0,9	21,5	0,02	2,2	2,5	0,03	0,87	0,01	0,9	6,6
B6(0,053)	ND	14,3	5,3	41,8	0,1	2,0	0,2	2,3	0,1	0,8	21,4	0,02	1,9	1,1	0,02	3,1	ND	3,1	5,5
B6(-0,053)	0,2	14,3	5,5	41,9	0,1	1,7	0,2	2,3	0,1	0,8	21,7	0,01	1,7	1,1	ND	3,0	ND	3,0	5,3
B7(0,210)	ND	6,8	2,7	66,5	0,1	0,8	0,2	1,1	0,08	0,7	15,8	0,01	1,1	1,6	0,03	ND	ND	ND	2,5
B7(0,105)	0,1	3,4	1,7	19,3	0,2	1,8	0,06	1,7	0,2	0,8	62,1	ND	2,1	4,7	0,1	ND	0,05	ND	1,8
B7(0,053)	ND	6,9	1,5	39,8	0,2	1,5	0,08	1,4	0,3	0,8	42,9	ND	1,1	2,1	0,03	ND	0,02	ND	1,5
B7(-0,053)	ND	7,3	13,2	40,8	0,2	1,1	0,5	1,3	0,4	0,5	24,7	0,02	2,0	1,6	0,0	ND	0,03	ND	6,3

Anexo 3. Composição química das frações 0,210, 0,105, 0,053 e - 0,053 mm de amostras lavadas. Obtido através de FRX por preparação a fusão. Resultados expressos em percentagem de óxidos normalizados a 100%.

Amostra(mm)	Na₂O	MgO	Al₂O₃	SiO₂	P₂O₅	SO₃	K₂O	CaO	TiO₂	MnO	Fe₂O₃	CuO	ZnO	PbO	Cl	ZrO₂	PPC*
B1(0,210)	0,2	6,8	2,0	53,0	0,07	4,6	0,2	4,9	0,05	0,7	19,7	0,02	0,6	0,9	ND	ND	6,3
B1(0,105)	0,06	7,9	1,3	58,9	0,07	0,3	0,1	2,9	ND	0,9	21,3	0,01	0,5	1,0	ND	ND	4,9
B1(0,053)	0,1	5,9	0,7	40,4	0,1	0,5	0,06	2,5	0,05	0,7	43,4	0,02	0,4	1,0	0,04	ND	4,1
B1(-0,053)	0,1	4,5	1,1	33,6	0,2	1,1	0,08	1,9	0,1	0,7	50,8	0,02	0,6	2,1	0,04	ND	3,1
B2(0,210)	0,1	5,5	1,4	20,4	0,04	30,8	0,2	22,7	ND	0,5	10,7	0,02	0,5	0,9	0,05	ND	6,2
B2(0,105)	0,1	12,3	2,7	42,9	0,09	2,3	0,3	4,7	0,07	1,1	23,9	0,02	0,8	2,1	ND	ND	6,6
B2(0,053)	0,1	13,5	3,2	43,5	0,08	1,1	0,4	4,0	0,07	1,3	22,3	0,03	1,0	2,5	ND	ND	7,0
B2(-0,053)	0,2	13,8	2,4	42,3	0,1	1,8	0,4	4,6	0,09	1,1	23,0	0,02	0,8	1,8	0,04	ND	7,5
B3(0,210)	0,08	7,5	3,1	55,1	0,05	2,8	0,4	3,6	0,06	0,6	19,1	ND	0,8	0,7	0,04	ND	6,0
B3(0,105)	0,2	10,6	1,5	53,5	0,07	0,4	0,1	4,4	0,03	1,0	20,7	0,02	0,4	0,7	0,05	ND	6,2
B3(0,053)	0,1	8,9	0,8	32,2	0,1	0,6	0,08	4,3	0,05	1,0	45,0	0,01	0,3	0,6	0,03	ND	5,8
B3(-0,053)	0,1	6,7	0,9	22,8	0,1	1,8	0,1	3,1	0,07	0,7	59,0	ND	0,4	1,2	ND	ND	2,8
B4(0,210)	0,2	12,9	3,3	42,2	0,1	1,9	0,5	3,2	0,09	1,0	26,4	0,03	1,2	1,6	ND	ND	5,4
B4(0,105)	0,3	13,2	1,8	52,2	0,05	0,2	0,2	3,6	0,05	1,0	20,6	0,02	0,5	0,7	0,05	ND	5,6
B4(0,053)	0,1	12,6	1,0	43,6	0,1	0,5	0,4	4,5	0,05	1,0	28,8	ND	0,3	0,3	ND	ND	6,7
B4(-0,053)	0,1	8,9	0,8	27,9	0,1	0,8	0,04	3,5	0,08	0,8	51,9	0,02	0,4	0,7	ND	ND	3,8
B5(0,210)	0,2	4,8	2,2	64,4	0,07	0,1	0,1	0,9	0,06	0,6	20,1	0,03	0,9	1,3	0,04	ND	4,2
B5(0,105)	0,1	5,6	1,3	55,8	0,08	0,3	0,08	1,4	0,06	0,7	28,7	ND	0,7	1,3	ND	ND	3,8
B5(0,053)	0,06	5,2	1,2	43,5	0,1	0,5	0,09	1,4	0,07	0,7	42,2	0,02	0,6	1,5	0,02	ND	2,8
B5(-0,053)	ND	4,9	1,7	39,4	0,2	0,4	0,1	1,2	0,09	0,7	45,3	0,01	0,7	2,2	ND	ND	3,1
B6(0,210)	0,2	10,5	4,6	38,1	0,1	2,1	0,4	2,8	0,2	0,9	25,5	0,03	2,6	1,6	0,02	0,01	6,9
B6(0,105)	0,2	11,0	4,6	40,9	0,1	1,9	0,3	2,7	0,2	1,0	25,1	0,03	2,5	2,8	0,05	ND	6,6
B6(0,053)	0,2	11,6	4,1	42,3	0,1	1,7	0,2	2,6	0,2	0,9	27,0	0,03	2,3	1,4	ND	ND	5,5
B6(-0,053)	0,2	11,7	4,0	43,0	0,1	1,5	0,3	2,5	0,1	0,9	26,9	0,02	2,1	1,3	0,1	ND	5,3
B7(0,210)	0,2	4,3	1,9	66,2	0,05	0,4	0,3	1,0	0,2	0,7	19,9	0,02	1,0	1,4	ND	ND	2,5
B7(0,105)	0,06	4,3	1,1	32,3	0,1	0,8	0,1	1,2	0,4	0,8	53,9	0,0	1,0	2,1	ND	0,02	1,8
B7(0,053)	0,04	3,1	1,4	21,5	0,2	0,5	0,1	1,0	0,3	0,5	66,8	ND	0,8	2,1	ND	0,02	1,5
B7(-0,053)	0,3	4,4	8,4	33,0	0,2	0,7	0,1	1,4	0,6	0,5	34,9	0,01	1,9	1,7	ND	0,03	6,3

Anexo 4. Difratomogramas de raios X.

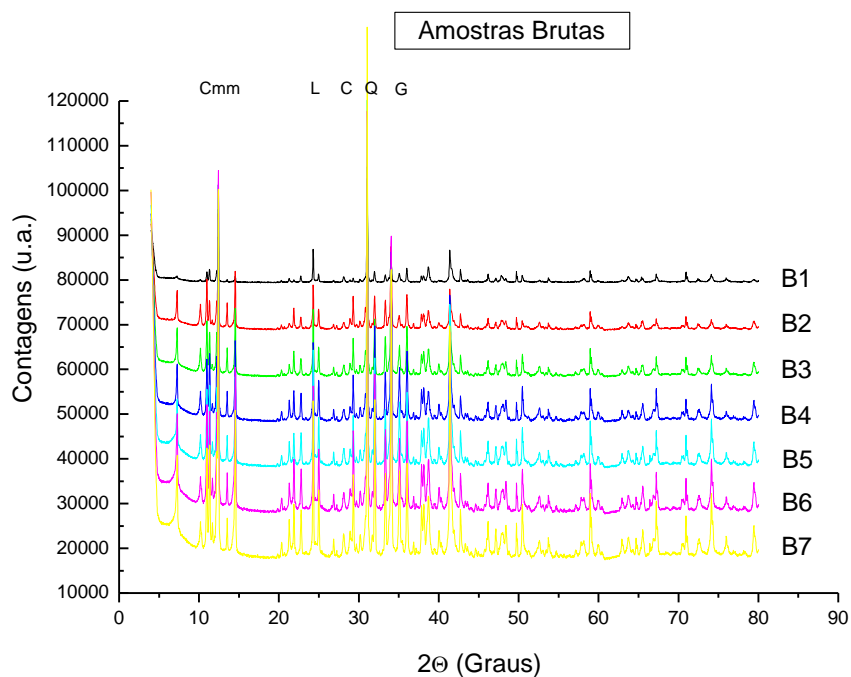


Figura 1. Difratomogramas obtidos a partir de análise nas amostras brutas. (Cmm – cummingtonita, C – cerussita, G – galena, L – lizardita, Q – quartzo).

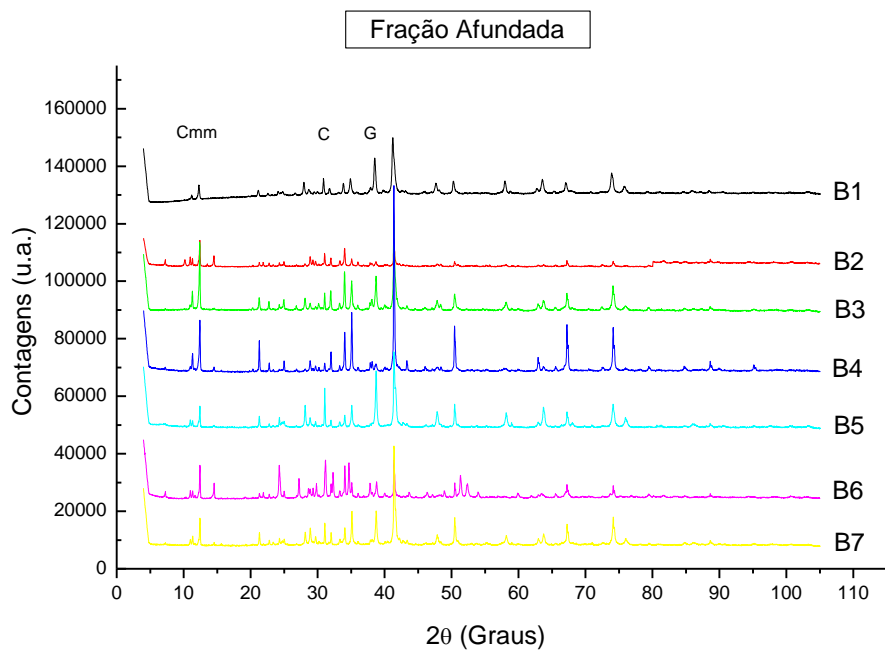


Figura 2. Difratomogramas obtidos a partir de análise nas frações afundadas. (Cmm – cummingtonita, C – cerussita, G – galena)

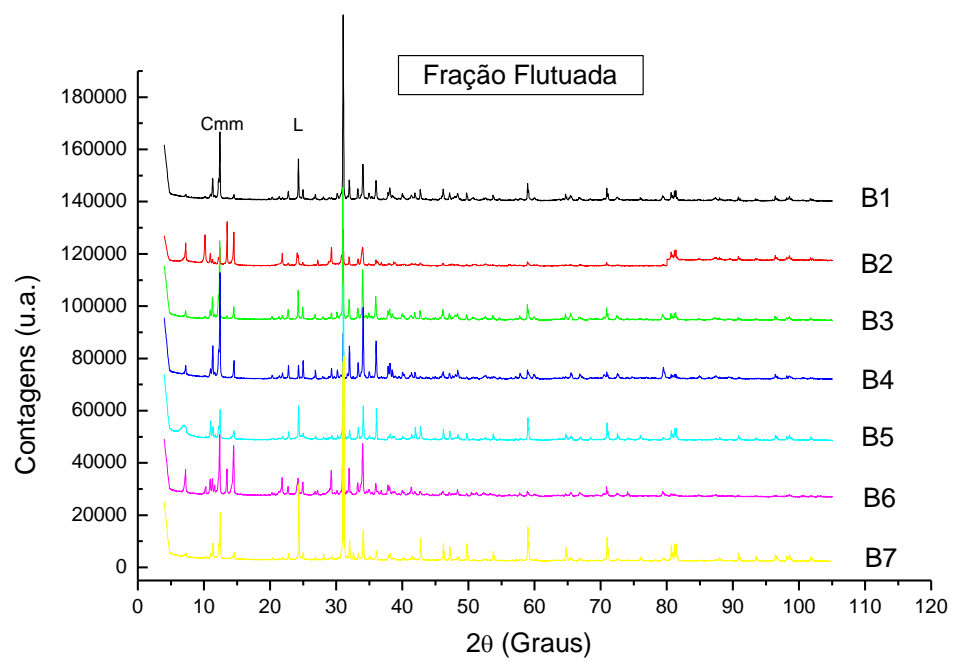


Figura 3. Difratomogramas obtidos a partir de análise nas frações flutuadas. (Cmm – cummingtonita, L – lizardita).